

## Trabajo Fin de Máster

Optimización de un Pilar A Superior de automóvil  
en diferentes materiales en base a la normativa  
FMVSS216 de ensayo de techo

Autor

Diego García Lázaro

Codirectores

Luis Castejón Herrer  
David Valladares Hernando

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2013

*Diego García Lázaro*

*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.*

**Página - 2 - de 50**

## RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como objeto el estudio comparativo-teórico del comportamiento frente a vuelco de un Pilar A Superior de automóvil fabricado con diferentes tipos de materiales.

Para este estudio se han utilizado herramientas de modelización y simulación numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos:

- Patran para el diseño de la geometría y el preproceso.
- Ábaqus para el cálculo y el postproceso.

La optimización del Pilar A Superior se hace en base a la norma americana FMVSS216. Esta normativa establece un criterio de ensayo de techo de automóvil, de modo que su superación implica que un vehículo tenga una resistencia mínima frente a vuelco.

Según esta normativa se aplica una fuerza sobre una esquina del automóvil, donde se une el techo con el pilar A, por medio de una placa rígida inclinada 25º respecto a la longitudinal y 5º respecto al frente. El vehículo debe presentar una reacción al aplastamiento determinada para diferentes niveles de desplazamiento.

Los componentes del automóvil responsables de proporcionar la rigidez requerida son principalmente el Pilar A Superior, pero también el techo y el parabrisas en menor medida.

En el presente proyecto se plantea la optimización del Pilar A Superior de un automóvil, aplicando diferentes espesores (0,8 mm, 1,4 mm y 2 mm) en aceros con diferentes grados de resistencia, que van desde un acero convencional (S355JR), hasta aceros de alta (DOCOL 1000DP) y ultra alta resistencia (DOCOL 1400M). El objetivo consiste en lograr pesos más reducidos al aplicar aceros de alta resistencia con espesores óptimos, logrando cumplir la normativa como con el diseño original.

También se planteará el diseño del Pilar A Superior en diferentes aleaciones de aluminio (EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6), comprobándose el ahorro en peso obtenido, pero siempre con el objetivo de cumplir la normativa.

La metodología aplicada en el desarrollo de este proyecto es el Método de los Elementos Finitos, con integración explícita de la ecuación de equilibrio dinámica.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. PILAR A: GENERALIDADES.....</b>	<b>- 5 -</b>
1.1. Geometría .....	- 7 -
1.2. Ubicación.....	- 8 -
1.3. Técnicas de fabricación .....	- 8 -
<b>2. LA NORMA FMVSS216: ENSAYO DE TECHO. INFORMACIÓN RELEVANTE .....</b>	<b>- 11 -</b>
2.1. Adaptación de la norma al estudio comparativo .....	- 14 -
<b>3. SIMULACIÓN DEL ENSAYO MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....</b>	<b>- 14 -</b>
3.1. Generalidades .....	- 14 -
3.1.1. Descripción del software utilizado .....	- 14 -
3.1.2. Preproceso .....	- 14 -
3.1.3. Cálculo y consideraciones sobre el cálculo .....	- 15 -
3.1.4. Postproceso.....	- 17 -
3.2. Elección del espesor y tipo de acero del Pilar A Superior en base al desplazamiento obtenido .....	- 19 -
3.2.1. Espesor 0,8 mm .....	- 20 -
3.2.2. Espesor 1,4 mm .....	- 24 -
3.2.3. Espesor 2 mm .....	- 28 -
3.3. Elección del espesor y tipo de aluminio del Pilar A Superior en base al desplazamiento obtenido .....	- 32 -
3.3.1. Espesor 0,8 mm .....	- 33 -
3.3.2. Espesor 1,4 mm .....	- 37 -
3.3.3. Espesor 2 mm .....	- 41 -
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>- 50 -</b>

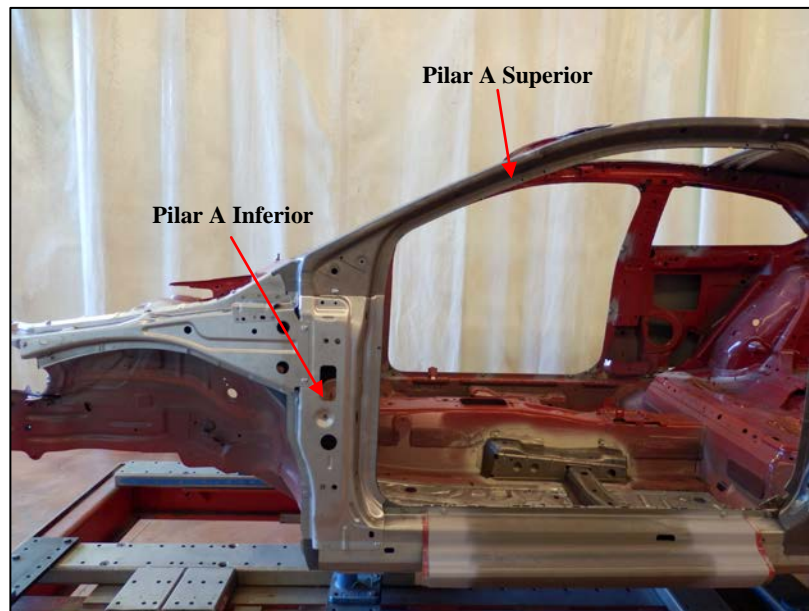


## 1. PILAR A: GENERALIDADES

Pilar A es el nombre genérico que se aplica al montante de vano, que une el techo de un automóvil al resto de la estructura habitable del mismo en su parte delantera, sirviendo a su vez de soporte a la luna parabrisas y de anclaje a las puertas delanteras.

El pilar A es una pieza con una alta responsabilidad estructural, puesto que tiene como función impedir que el habitáculo de pasajeros se deforme en caso de impacto frontal o vuelco.

Por lo general, para los fabricantes de vehículos el Pilar A se compone de dos piezas totalmente diferenciadas, que se denominan Pilar A Superior y Pilar A Inferior (figura 1). El primero de ellos se encuentra unido fundamentalmente al techo del vehículo y al pilar B y en algunos modelos de automóviles también se une al pilar C. Por el contrario, el Pilar A Inferior se encuentra unido fundamentalmente al refuerzo del estribo.



**Figura 1. Imagen del Pilar A Superior e Inferior**

Destacar que el Pilar A, tanto superior como inferior, está compuesto por varias piezas. Una pieza exterior sobre la que se sueldan varios refuerzos que sirven para dar rigidez y resistencia a la pieza exterior (figura 2).



**Figura 2. Despiece del Pilar A Superior e Inferior**

Sobre el Pilar A se coloca una pieza de cierre, que cubre el mismo, impidiendo su visión desde el exterior. Esta pieza desempeña exclusivamente las funciones de cerramiento, sin ningún tipo de responsabilidad estructural. El nombre que recibe esta pieza es marco lateral del vehículo (figura 3), y además de servir de cerramiento del Pilar A cubre también piezas como el pilar B, refuerzo de estribo y pilar C.



**Figura 3. Imagen del marco lateral**

*Diego García Lázaro*

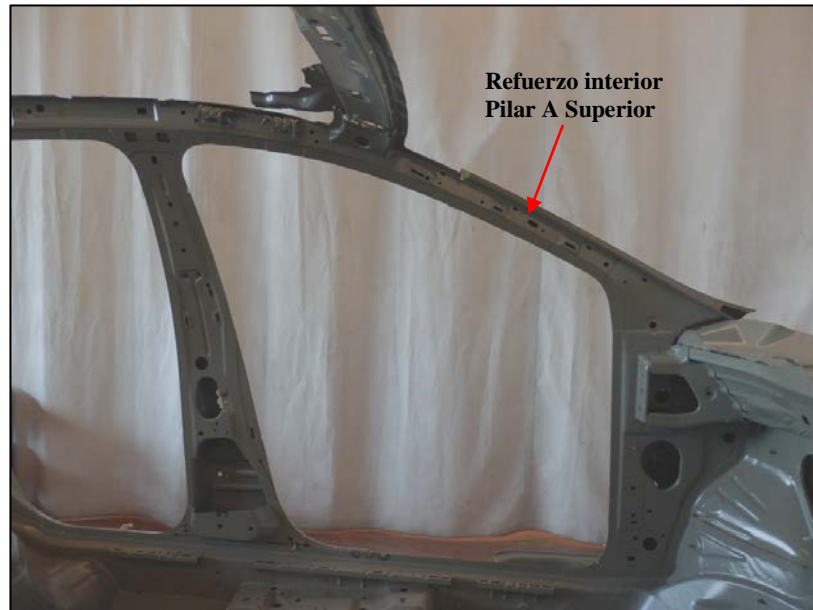
*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.*

**Página - 6 - de 50**

### 1.1. Geometría

Es habitual que la geometría que presenta el Pilar A sea muy similar en todos los vehículos, radicando la diferencia fundamentalmente entre el que lleva un vehículo y otro en su longitud, anchura y espesor.

La geometría del Pilar A se obtiene a través de un proceso de estampación, para posteriormente soldarle los refuerzos interiores (figura 4) y unirlo a la carrocería por sus dos extremos longitudinales mediante soldadura por resistencia eléctrica por puntos (figura 5).



**Figura 4.** Imagen de los refuerzos interiores del Pilar A Superior e Inferior y del Pilar B



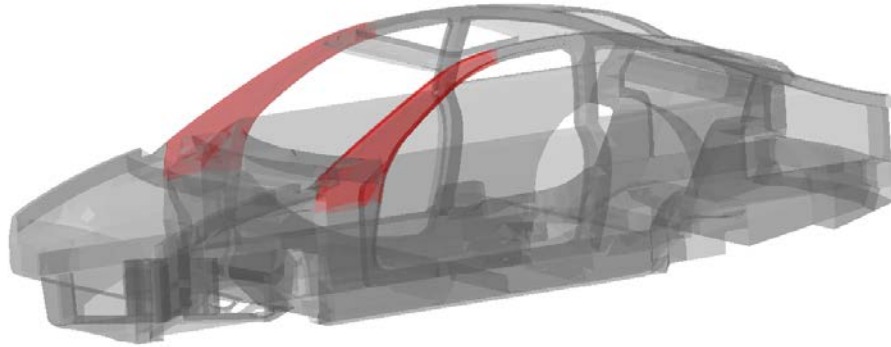
**Figura 5.** Imagen del Pilar A Superior del Golf VII

*Diego García Lázaro*

*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo*

## 1.2. Ubicación

La ubicación del Pilar A Superior dentro del vehículo queda representada en la figura 6.

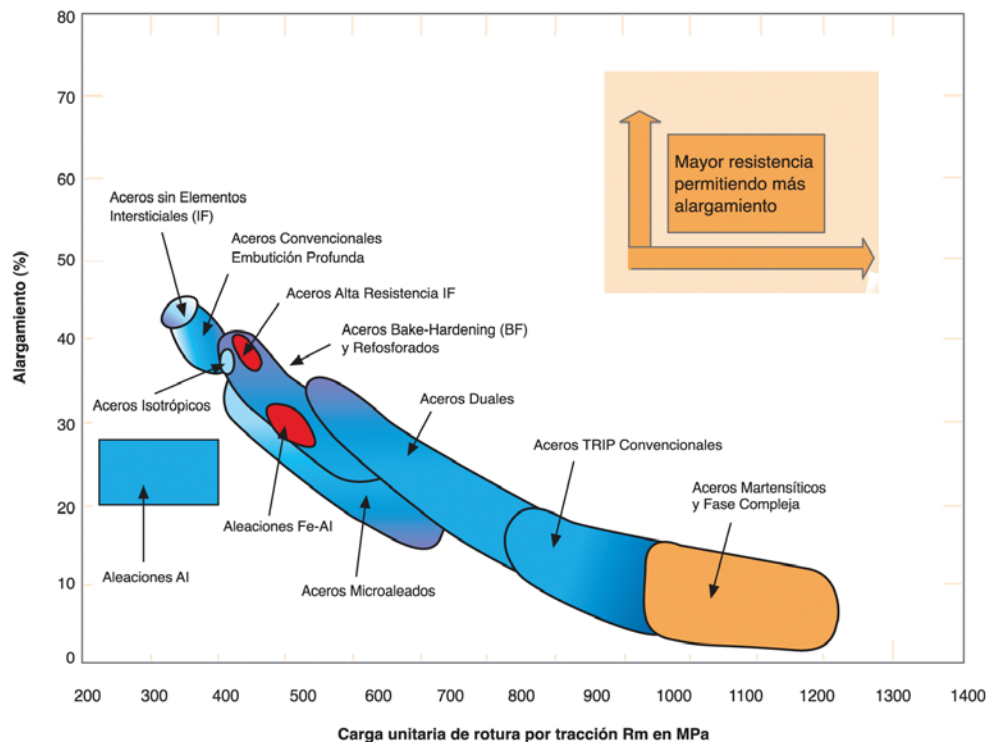


**Figura 6. Posición del Pilar A Superior dentro de la carrocería**

## 1.3. Técnicas de fabricación

Desde hace tiempo los fabricantes de vehículos vienen trabajando en el aligeramiento del peso de las carrocerías, con el objetivo de reducir los niveles de consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes de sus vehículos, pero sin penalizar los niveles de resistencia frente a choque.

Esta línea de trabajo supuso en primera estancia la utilización de nuevos aceros (DP, CP, TRIP, Martensíticos y al Boro) para la fabricación de carrocerías, aceros más resistentes, que permiten fabricar piezas con un espesor menor, y por lo tanto más ligeras, pero sin perder los niveles de resistencia iniciales de la pieza, llegando incluso en muchos casos a incrementarlos (figura 7).



**Figura 7. Gráfica que relaciona el alargamiento con la carga unitaria de rotura para diferentes aceros**

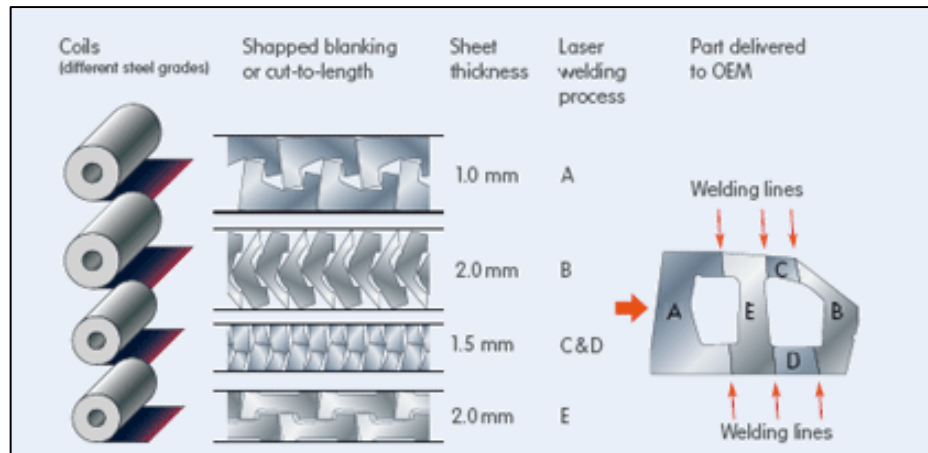
Una vez consolidado e implantado el uso de esta nueva generación de aceros para la fabricación, sobre todo de piezas estructurales de carrocerías de vehículos, se sigue investigando en cómo conseguir unos niveles de aligeramiento mayores.

Tradicionalmente, las bobinas de acero utilizadas para estampar o conformar las piezas estructurales de las carrocerías de los vehículos presentan un espesor uniforme. Esto condiciona enormemente la posibilidad de reducir el peso de las piezas, puesto que toda la pieza no está sometida a los mismos esfuerzos pero se hace necesario fabricarla por completo con el espesor que permite soportarlos. El escenario ideal sería fabricar piezas con espesor variable, lo que llevaría a conseguir, no sólo un ahorro de material, sino también un incremento de flexibilidad en el diseño, eliminándose los refuerzos que pueda llevar la pieza en aquellas zonas sometidas a mayores esfuerzos. El resultado de ello es la aparición de dos nuevas técnicas de fabricación de piezas denominadas *Tailored Blank* y *Tailored Rolled Blank*, que permiten fabricar piezas con espesor variable.

- *Tailored Blank*: El proceso de fabricación consiste en estampar por separado cada una de las partes de la pieza con diferente espesor para posteriormente unirlos por soldadura laser y obtener finalmente la pieza completa (figura 8).

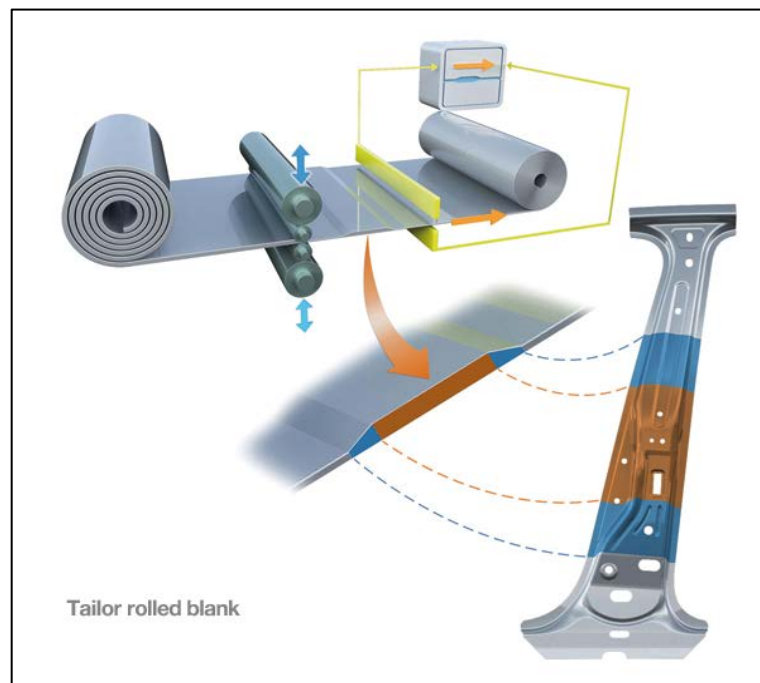
De esta forma se consigue que cada zona de la pieza tenga el espesor adecuado en función de los esfuerzos a los que está sometida.

Diego García Lázaro



**Figura 8. Aplicación de la técnica Tailored Blank**

- *Tailored Rolled Blank*: Al igual que el *Tailored Blank*, esta nueva técnica permite fabricar piezas con espesores variables (figura 9). La diferencia radica fundamentalmente en el proceso de laminado de la bobina de acero, que posteriormente se utiliza para estampar o conformar la pieza, de tal manera que durante el proceso de laminación el hueco existente entre los rodillos del tren de laminación va variando obteniendo de esta forma una bobina de acero con diferentes espesores. Posteriormente, se lleva a cabo el proceso de estampación, y el resultado es una pieza con sección variable uniforme, adaptándose el espesor de la pieza a las solicitaciones de carga a las que está sometida.



**Figura 9. Aplicación de la técnica Tailored Rolled Blank**



## **2. LA NORMA FMVSS216: ENSAYO DE TECHO. INFORMACIÓN RELEVANTE**

La norma FMVSS216 “Ensayo de techo” describe el ensayo a realizar sobre un vehículo, para verificar que protege a sus ocupantes frente a un impacto por vuelco.

Primeramente, en el apartado S5 “Requirements” se indica el desplazamiento máximo permitido de la cara inferior del dispositivo, que se utiliza para aplicar la fuerza perpendicular al mismo, siendo este desplazamiento como máximo de 127 mm.

En el mismo apartado, se establece el valor máximo de la fuerza (en Newtons) a aplicar en el techo del vehículo en función del peso (en Kilos) que tenga el vehículo en orden de marcha:

- Para vehículos con un peso en orden de marcha de como máximo 2.722 kg, la fuerza a aplicar se obtendrá de multiplicar por 3 el peso del vehículo y por el valor de la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).
- Para vehículos con un peso en orden de marcha superior a 2.722 kg, la fuerza a aplicar se obtendrá de multiplicar por 1,5 el peso del vehículo y por el valor de la aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

Posteriormente, en el apartado S6 “Test device” se describen las características que debe presentar el dispositivo con el que se va aplicar la fuerza. Este dispositivo debe ser una placa rígida cuya superficie inferior sea un rectángulo plano con unas dimensiones de 762 mm de ancho por 1.829 mm de largo

A continuación, en el apartado S7 “Test procedure” se describe como realizar el ensayo. Para ello en primer lugar, el vehículo se coloca sobre una superficie rígida horizontal con una tolerancia de planitud longitudinal de  $0^\circ \pm 0,5^\circ$ , y posteriormente se ancla a la misma mediante cuatro apoyos rígidos.

En el apartado S7 también se indica cómo debe estar orientada y posicionada la placa rígida tal y como se muestra en las figuras 10 y 11. Según la norma, la placa debe hacer contacto sobre una esquina del vehículo, en la zona de unión del techo y la luna parabrisas, de tal manera que la distancia entre el punto de contacto y el extremo longitudinal de la placa sea 254 mm. A su vez, la placa rígida debe estar inclinada  $25^\circ$  respecto a la longitudinal y  $5^\circ$  respecto al frente.

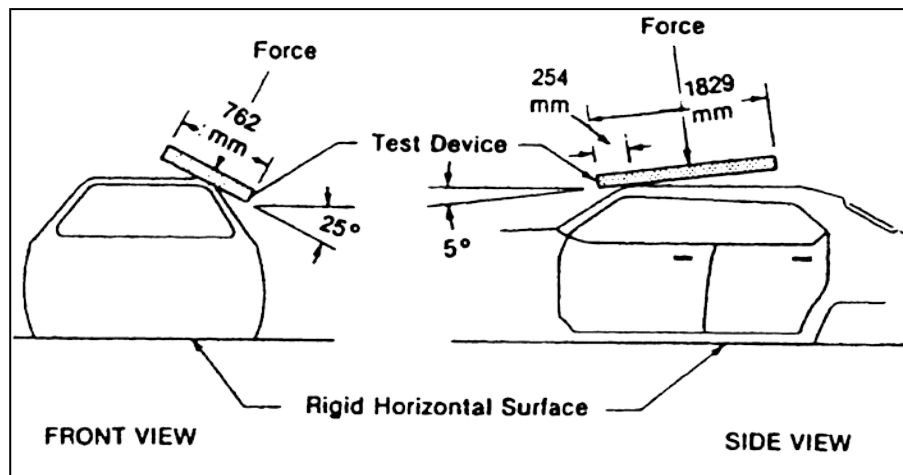


Figura 10. Posicionamiento de la placa rígida

En este mismo apartado, se indica que la fuerza aplicada debe desplazarse hacia abajo, en la dirección perpendicular a la superficie inferior de la placa rígida, sin rotar y con una velocidad máxima de 13 mm/s hasta alcanzar el valor de la fuerza especificado inicialmente.



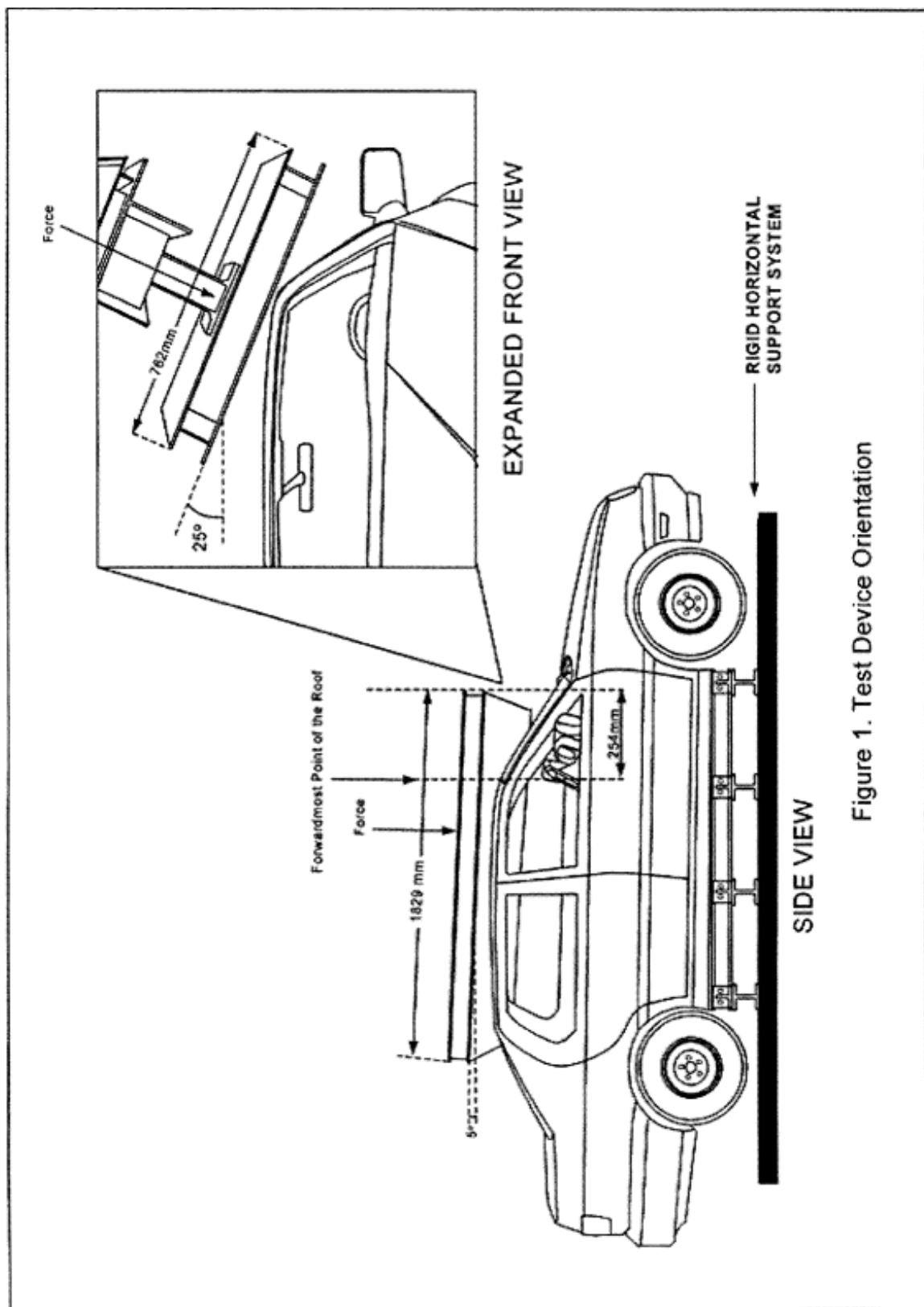


Figure 1. Test Device Orientation

Figura 11. Esquema del ensayo FMVSS216

Diego García Lázaro

TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo

## **2.1. Adaptación de la norma al estudio comparativo**

Para el estudio comparativo se va a suponer que el apartado S7 “Test procedure” de la norma se realiza sobre un turismo con las lunas desmontadas.

Hay que tener en cuenta que el ensayo que describe la norma es sobre un vehículo completo, donde se incluye la luna parabrisas. Este hecho influye en los resultados obtenidos, puesto que la luna parabrisas se considera un elemento estructural de la carrocería aportando rigidez a la misma.

Este estudio comparativo no pretende reproducir al completo un ensayo real sobre la totalidad del vehículo, sino centrarse únicamente en el Pilar A Superior.

Para cualquiera de los casos que se van a estudiar, los desplazamientos registrados serán mayores que si se reprodujese el ensayo del vehículo completo.

## **3. SIMULACIÓN DEL ENSAYO MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS**

### **3.1. Generalidades**

#### **3.1.1. Descripción del software utilizado**

Para la simulación del ensayo se ha recurrido al software de elementos finitos “Abaqus Explicit”.

“Abaqus Explicit” es un programa de cálculo por el método de los elementos finitos, que tiene la particularidad de estar diseñado para resolver problemas dinámicos transitorios y no lineales altamente complejos, tales como impactos de bala o de vehículos.

La alta capacidad de “Abaqus Explicit” para simular eventos no lineales como el contacto, lo hace muy atractivo para la simulación de muchos eventos cuasiestáticos, como la laminación de un metal en caliente y la deformación progresiva que sufren los dispositivos de absorción de energía.

#### **3.1.2. Preproceso**

La geometría del vehículo que se va a simular se ha importado del programa de diseño Patran. En este programa se ha modelado la geometría del vehículo como superficies, lo que permite realizar variaciones de espesor y definir a qué lado de la superficie se añade. Así mismo, con el mismo programa se ha diseñado el dispositivo de ensayo, placa rígida, como un sólido rígido indeformable y con masa una masa puntual en su punto central.

Se establece el valor máximo de la fuerza (en Newtons) a aplicar en el techo del vehículo. Esta fuerza se aplica perpendicularmente a la superficie de la placa rígida, en su punto medio, y con un valor tres veces el peso del vehículo en orden de marcha (1.645 kg) por la aceleración de la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>). Por lo tanto, el valor de la fuerza a aplicar es de -48.412 N.

*Diego García Lázaro*

El vehículo se ha empotrado en las cuatro ruedas impidiendo que se desplace y rote en ningún eje. De esta forma se consigue que todas las piezas de la carrocería se vean afectadas, en mayor o menor medida por la acción de la fuerza.

La placa rígida tiene restringido el giro en los tres ejes y su movimiento en todos los ejes excepto en el que actúa la fuerza.

Se tiene en cuenta la fricción entre la placa rígida y el techo del vehículo siendo el coeficiente de rozamiento entre ambos de 0,3.

El vehículo que se va ensayar se ha mallado con “elementos shell de 3 nodos con integración reducida” (S3R) y “elementos shell de 4 nodos con integración reducida” (S4R). Mientras que la placa rígida se ha mallado con “elementos shell de 3 dimensiones de 4 nodos” (R3D4).

Los materiales seleccionados para realizar la simulación son aceros y aluminios que habitualmente se usan en automoción y más concretamente para la fabricación de carrocerías. Las propiedades de los materiales se recogen en la tabla 1.

		Á (kg/m <sup>3</sup> )	E (N/m <sup>2</sup> )	1/2			Deformación de rotura (%)
ACERO	S355JR	7.800	2,1E+11	0,3	3,55E+8	5,1E+8	15
	DOCOL 1000DP				8E+8	1,1E+9	7
	DOCOL 1400M				1,2E+9	1,6E+9	3
ALUMINIO	EN AW 5083	2.700	7E+10	0,33	1,25E+8	3,12E+8	22
	EN AW 6082T4				1,1E+8	2,05E+8	23
	EN AW 6082T6				2,6E+8	3,1E+8	12

Tabla 1. Propiedades de los materiales a simular

### 3.1.3. Cálculo y consideraciones sobre el cálculo

La resolución del problema se hace con integración explícita de la ecuación de equilibrio dinámica ya que se trata de un problema cuasiestático.

Se considera que es un problema cuasiestático puesto que el material se deforma bajo la misma velocidad de deformación, oscilando esta velocidad entre 0.1 y 1 s<sup>-1</sup>. Por el contrario, se consideran problemas dinámicos aquellas situaciones en las que la velocidad de deformación varía entre 10 y 100 s<sup>-1</sup>. Esta última situación se da en colisiones de vehículos debido a que el material se deforma bajo diferentes velocidades de deformación.

Para la simulación del ensayo en “Abaqus Explicit” se establece un tiempo de cálculo de 50ms, incrementando el valor de la fuerza de forma gradual cada 0.05ms. Esto puede resultar contradictorio, si tenemos en cuenta que la norma establece una velocidad máxima de ensayo de 13 mm/s. La realidad es que esta velocidad se omite para realizar la simulación, puesto que estamos ante un problema cuasiestático, y

desde el punto de vista de cálculo, tener en cuenta esa velocidad supondría incrementar el tiempo de cálculo y el tamaño de los ficheros obtenidos, y todo para obtener los mismos resultados que la simulación que se ha llevado a cabo.

Otro aspecto a reseñar es la posición de la placa rígida antes de iniciar la simulación. Ésta se encuentra a 6,3 mm de distancia del vehículo, por lo tanto la placa al inicio del ensayo se desplaza esa distancia sin encontrar resistencia hasta que hace contacto con el vehículo.

“Abaqus Explicit” realizar el cálculo de la siguiente forma:

*Análisis dinámico explícito:* El procedimiento dinámico explícito consiste en realizar un gran número de pequeños incrementos de tiempo de forma eficiente. Para ello se usa una regla de integración de tiempo de diferencia-central explícita; cada incremento es relativamente reducido (comparado con el procedimiento de análisis dinámico de integración directa) porque no hay una solución para un grupo de ecuaciones simultáneas. El operador de diferencia-central explícita satisface la ecuación de equilibrio dinámico al principio del incremento,  $t$ , las aceleraciones calculadas en tiempo  $t$  usadas como incremento a la solución de la velocidad en el instante  $t+\Delta t/2$  y la solución del desplazamiento al instante  $t+\Delta t$ .

*Implementación numérica:* El procedimiento de análisis dinámico explícito se basa en la implementación de una regla de integración explícita junto con el uso de los elementos de la diagonal de la matriz de masa. La ecuación de movimiento para el cuerpo se integra usando la regla de integración central-diferencial explícita.

$$\dot{u}_{(i+\frac{1}{2})}^N = \dot{u}_{(i-\frac{1}{2})}^N + \frac{\Delta t_{(i+1)} + \Delta t_{(i)}}{2} \ddot{u}_{(i)}^N,$$

$$u_{(i+1)}^N = u_{(i)}^N + \Delta t_{(i+1)} \dot{u}_{(i+\frac{1}{2})}^N,$$

donde  $N$  es un grado de libertad (una componente del desplazamiento o rotación) y el subíndice  $i$  se refiere al número de incremento en una paso dinámico explícito. El operador de integración central-diferencial es explícito en el sentido que el estado cinemático es incrementado usando los valores conocidos de  $\dot{u}_{(i-\frac{1}{2})}^N$  y  $\ddot{u}_{(i)}^N$  del incremento previo.

La regla de integración es bastante simple pero por si sola no proporciona la eficiencia del cálculo asociada con el procedimiento dinámico explícito. La clave para la eficiencia del cálculo del procedimiento explícito está en usar los elementos de la diagonal de la matriz de masa porque la aceleración al principio del incremento está calculada por

$$\ddot{u}_{(i)}^N = (M^{NJ})^{-1} (P_{(i)}^J - I_{(i)}^J),$$

donde  $M$  es la matriz de masa,  $F$  es el vector de carga aplicado,  $e$  es el vector de fuerza interna. La matriz de masa es usada porque su inversa es fácil de calcular y porque la multiplicación del vector de la inversa de la masa por la fuerza interna requiere únicamente de  $n$  operaciones, donde  $n$  es el número de grados de libertad del modelo. El procedimiento explícito no requiere de interacciones ni de matriz tangente de rigidez. El vector de fuerza interna,  $F$ , se ensambla de la contribución de elementos individuales, de esta forma la matriz de rigidez global no es necesaria.

#### 3.1.4. Postproceso

Una vez que ha finalizado el cálculo los resultados obtenidos se visualizan a través de “Abaqus Viewer”.

Para el estudio, objeto de este informe, los resultados relevantes son los siguientes:

- *Desplazamiento de la placa rígida*, para comprobar si se cumple o no las exigencias de la norma.
- *Balance de energías*, con objeto de comprobar que la simulación ha sido satisfactoria y los resultados obtenidos son fiables. El balance de energías obtenido debe estar próximo a cero (nunca es cero por el grado de error inherente al cálculo). Para el problema objeto del estudio el balance de energía estaría compuesto por varios tipos de energías que se indican a continuación (figura 12):

$$\text{Balance de Energía} = \text{ALLKE} + \text{ALLIE} + \text{ALLVD} + \text{ALLFD} - \text{ALLWK} \approx 0$$

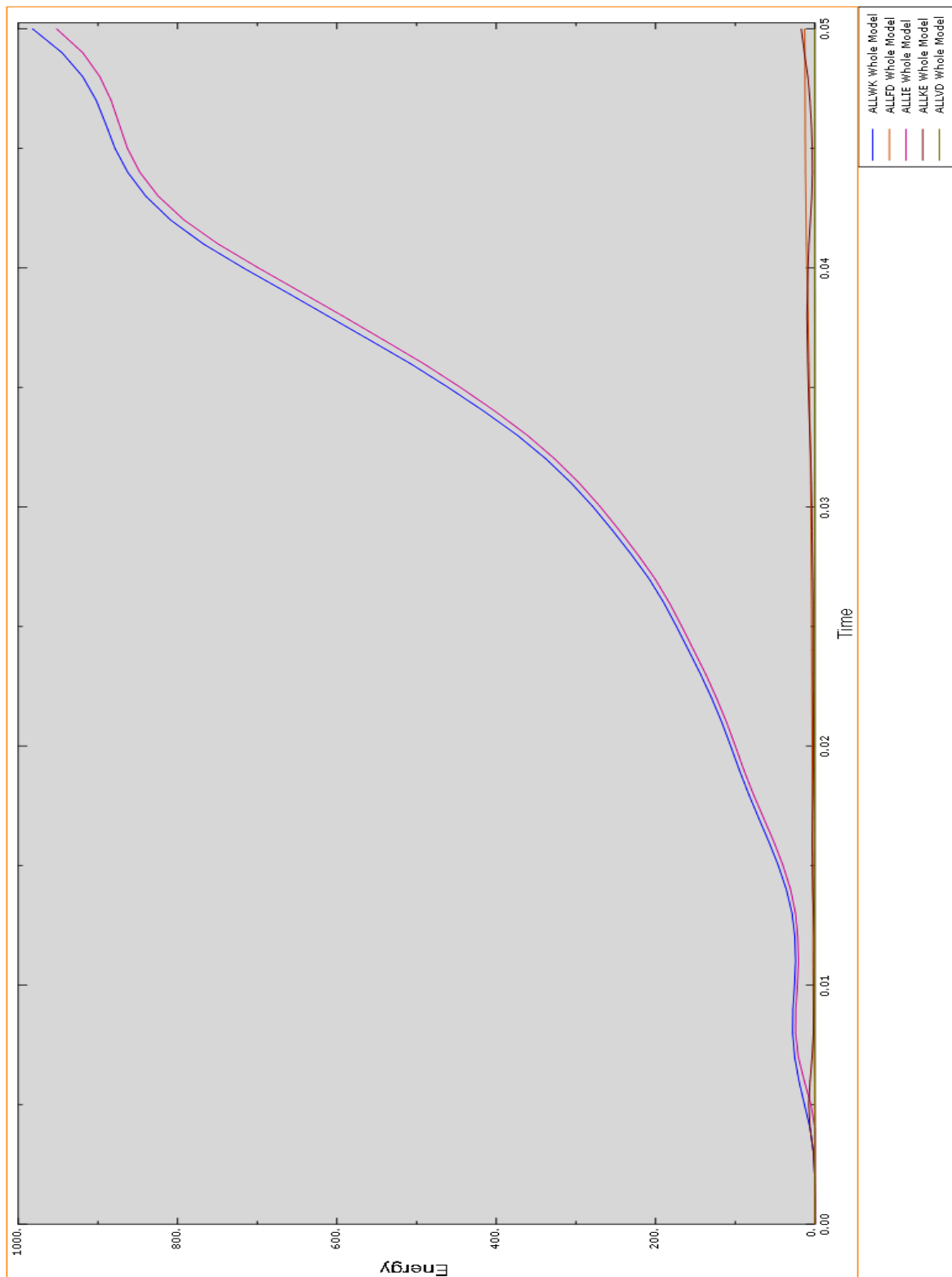
**ALLKE:** Energía cinética.

**ALLIE:** Energía de deformación.

**ALLVD:** Energía disipada por efectos viscosos.

**ALLFD:** Energía disipada por rozamiento.

**ALLWK:** Energía generada por fuerzas externas.



**Figura 12. Representación gráfica del balance de energías**

### **3.2. Elección del espesor y tipo de acero del Pilar A Superior en base al desplazamiento obtenido**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en “Abaqus Explicit” para los diferentes espesores y aceros utilizados (figuras 13 a 30). Posteriormente, se analizan los desplazamientos obtenidos en base al requerimiento establecido por la norma para comprobar si cumplen o no cumplen, así como el peso del Pilar A Superior (tablas 2 a 4). Finalmente, se representan gráficamente los desplazamientos obtenidos frente a la fuerza aplicada de los tres aceros analizados para cada uno de los espesores estudiados, con objeto de comparar visualmente su evolución a lo largo de la simulación (gráfico 1 a 3).

### 3.2.1. Espesor 0,8 mm

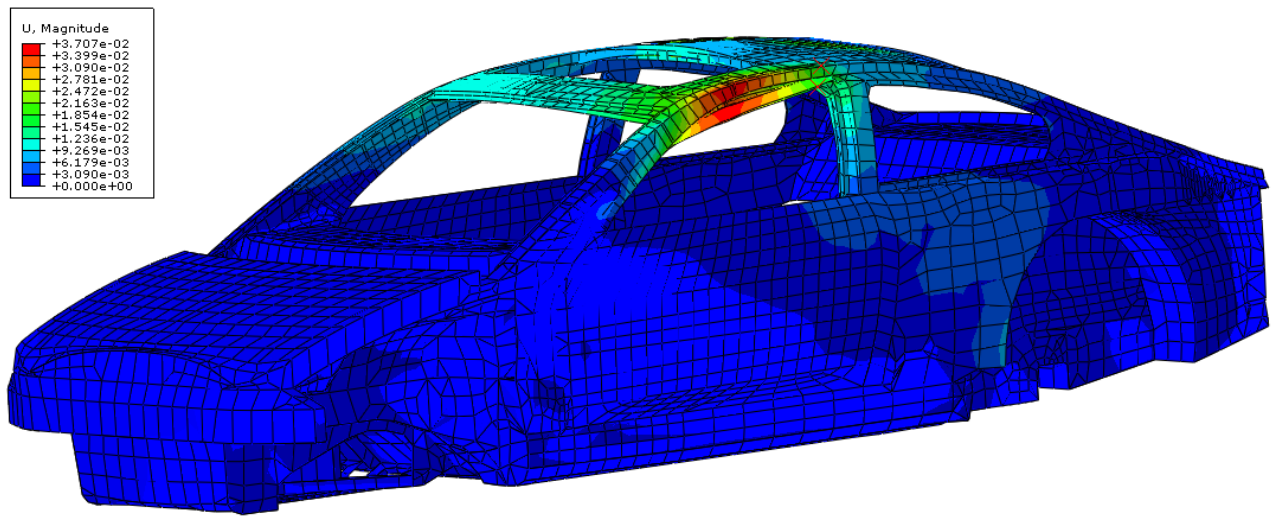


Figura 13. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 0,8 mm

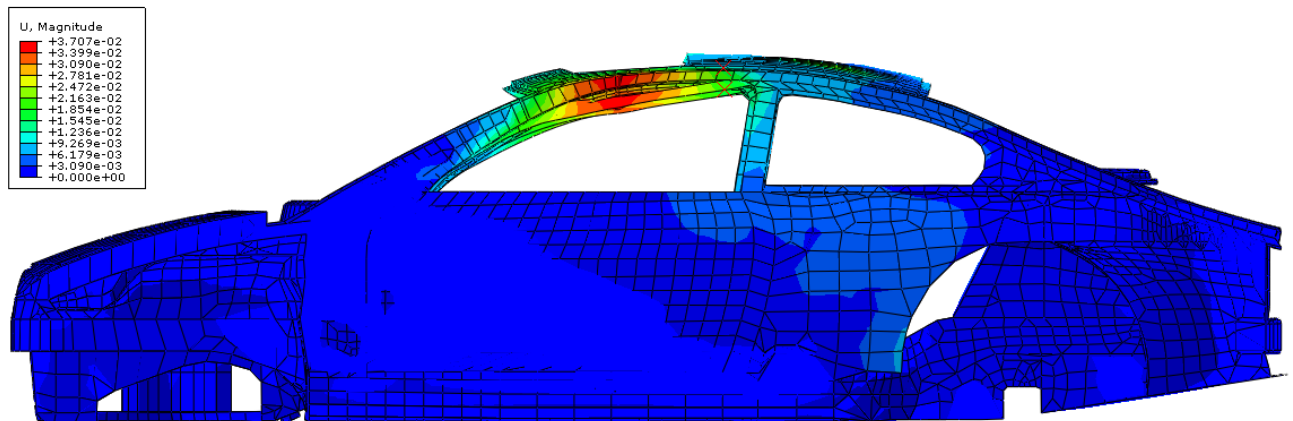
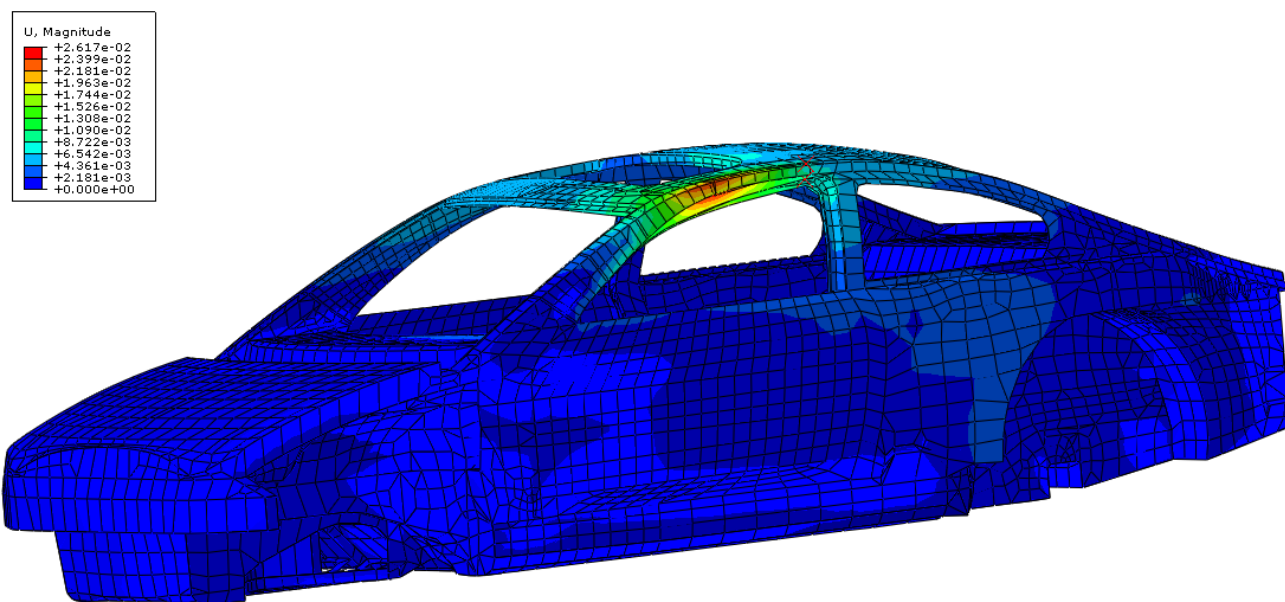


Figura 14. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 0,8 mm

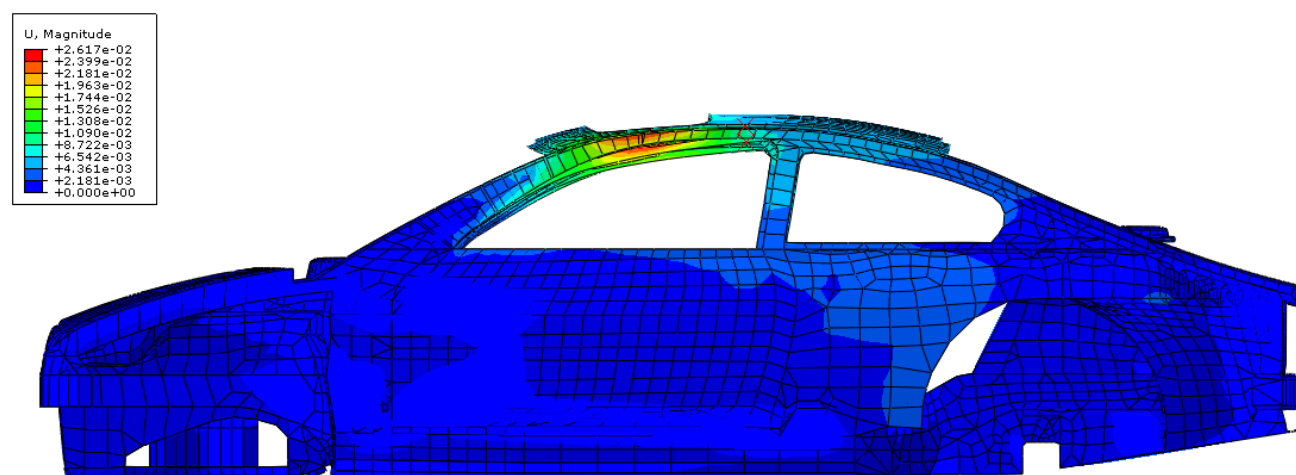
Diego García Lázaro

TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.

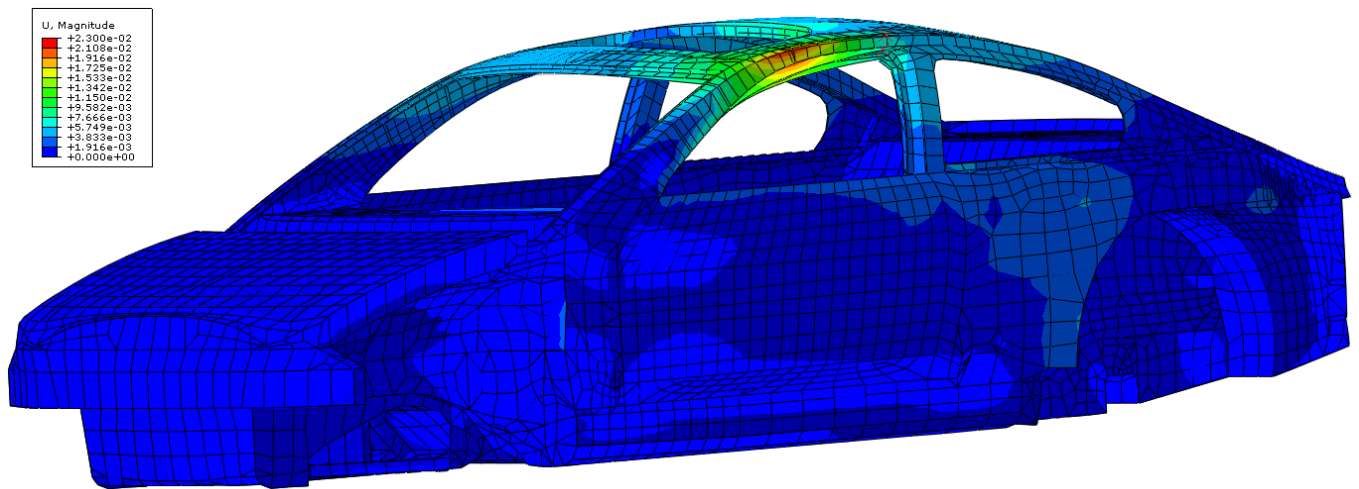




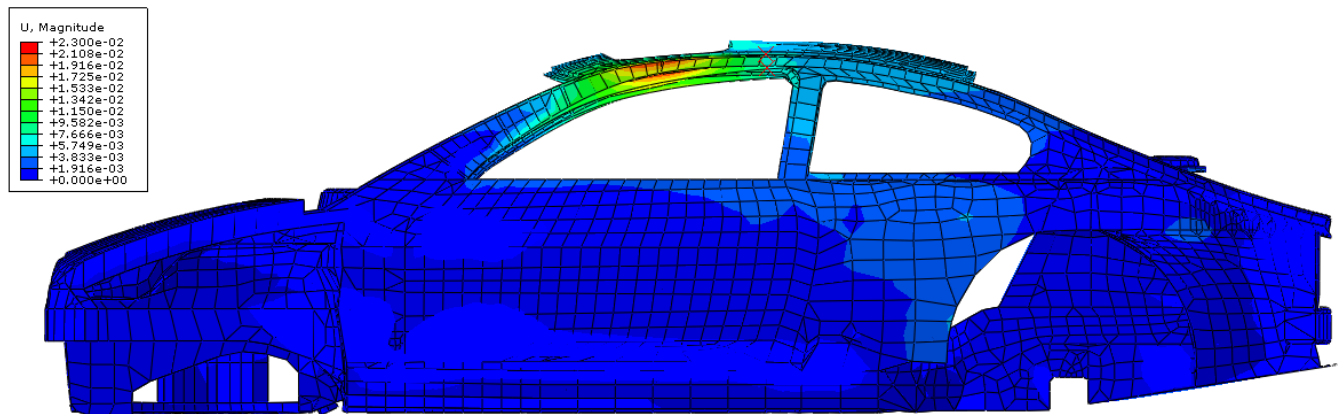
**Figura 15. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 0,8 mm**



**Figura 16. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 0,8 mm**



**Figura 17. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 0,8 mm**



**Figura 18. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 0,8 mm**

ACERO	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
S355JR	48.412	37,0748 < 127	SI	6,302
DOCOL 1000DP		26,1669 < 127	SI	
DOCOL 1400M		22,9973 < 127	SI	

Tabla 2. Resultados de los desplazamientos para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M y peso del Pilar A Superior para un espesor de 0,8 mm

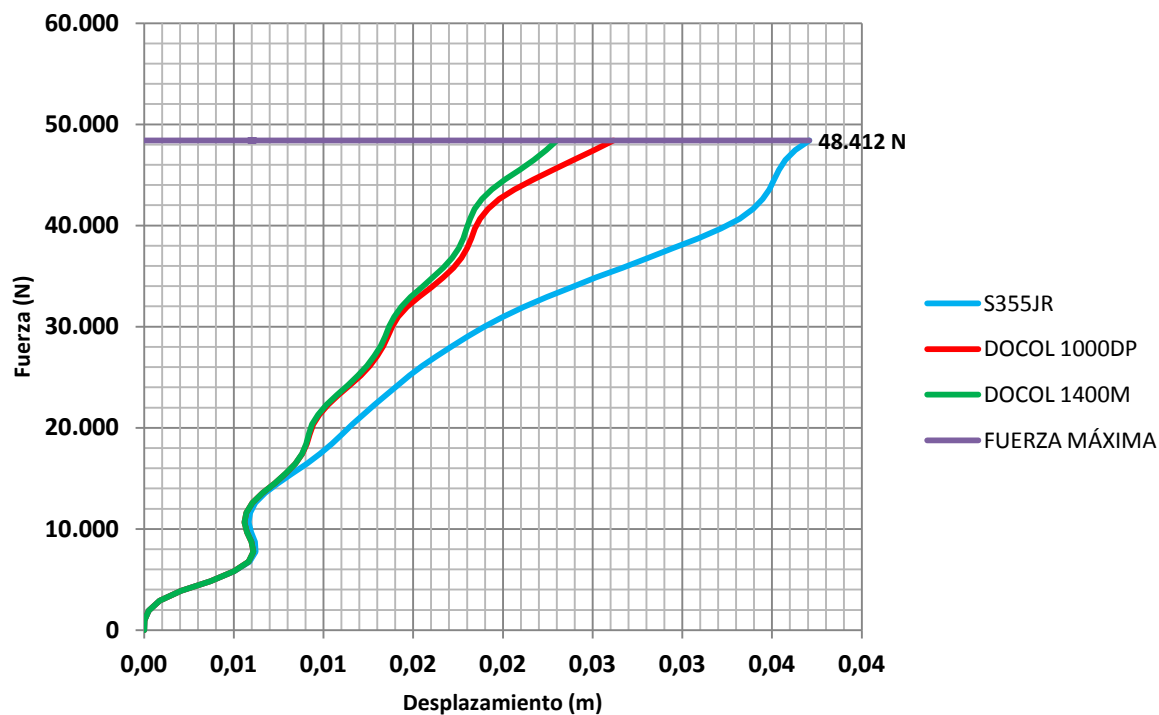
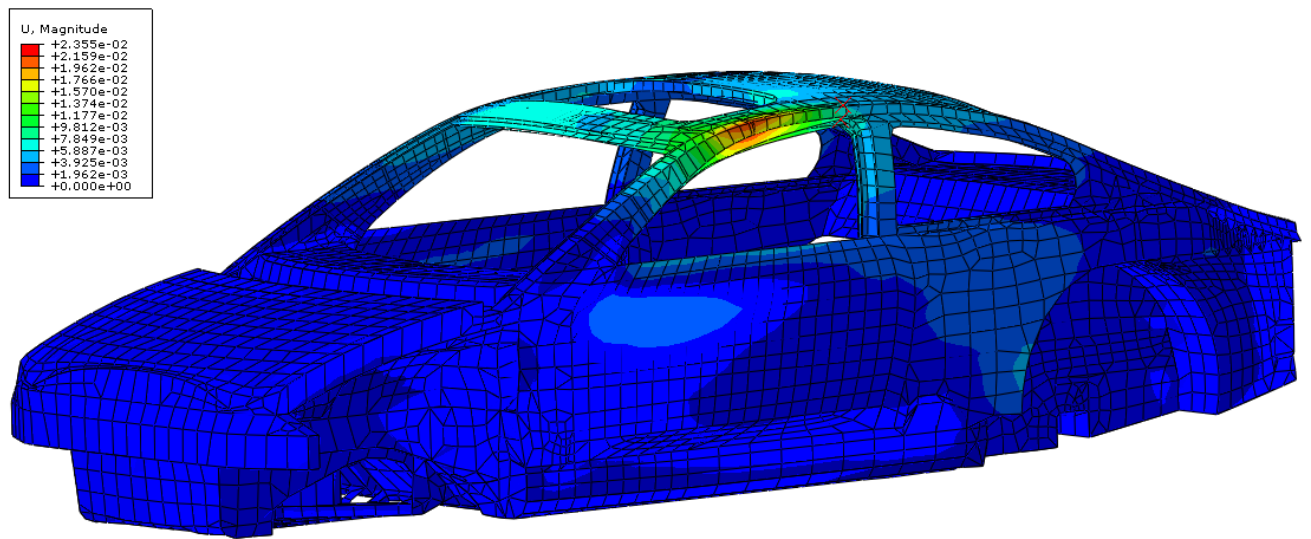
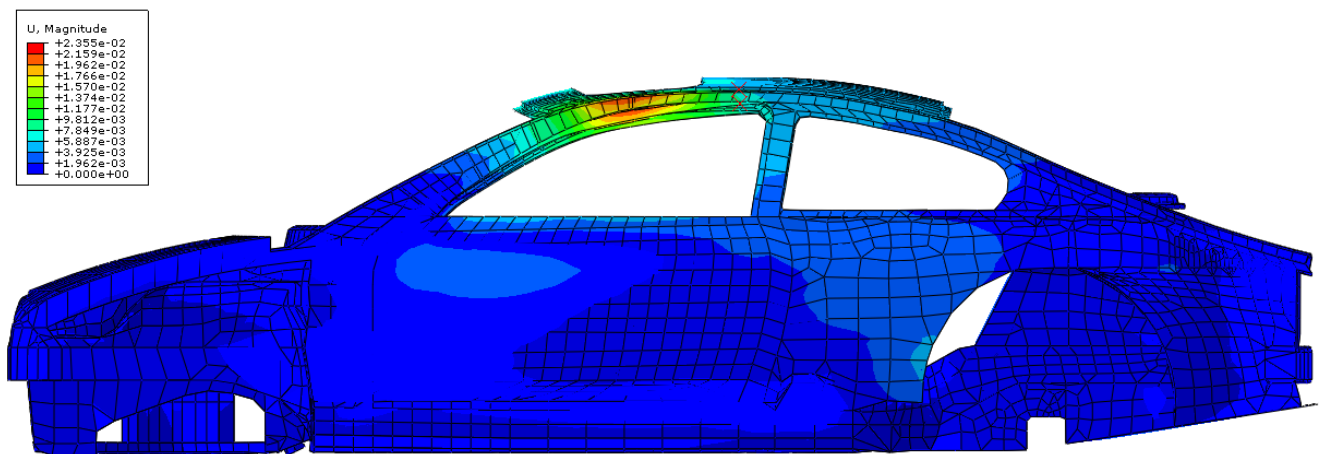


Gráfico 1. Desplazamiento-Fuerza para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M con un espesor de 0,8 mm

### 3.2.2. Espesor 1,4 mm



**Figura 19. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 1,4 mm**

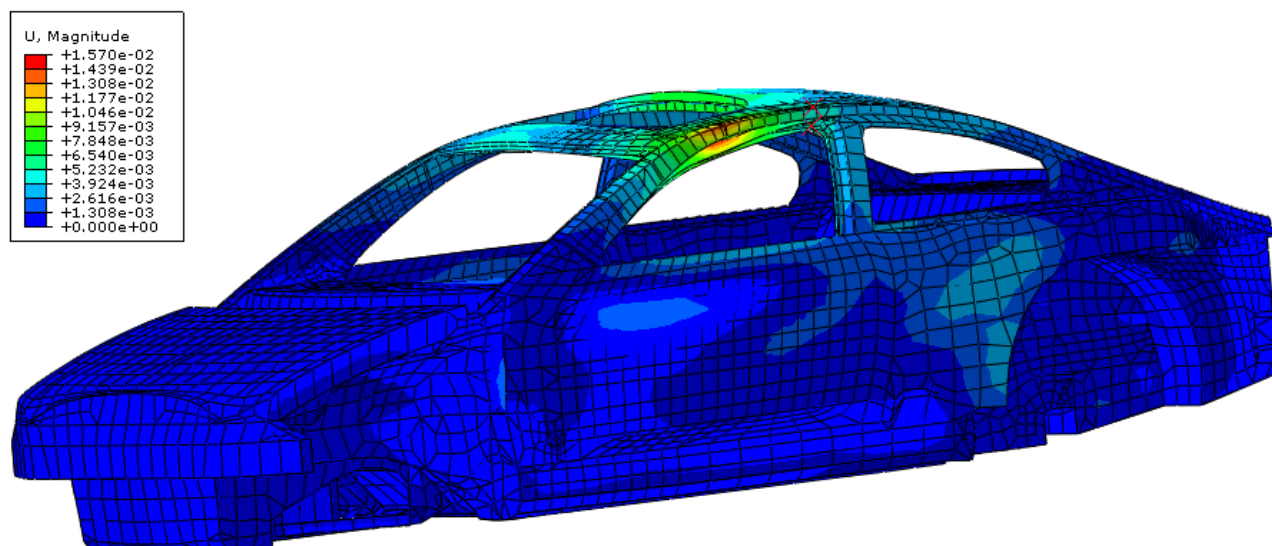


**Figura 20. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 1,4 mm**

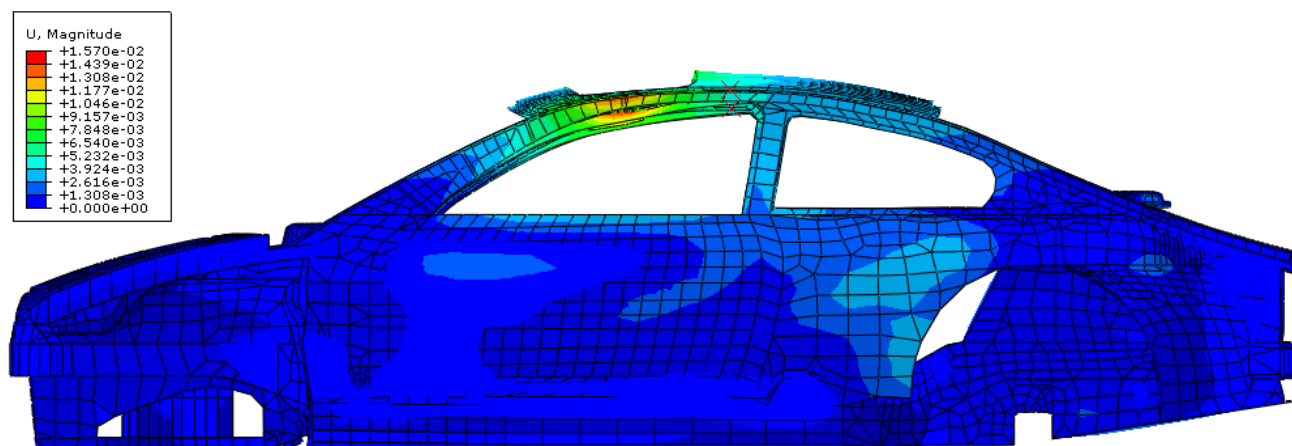
Diego García Lázaro

TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.

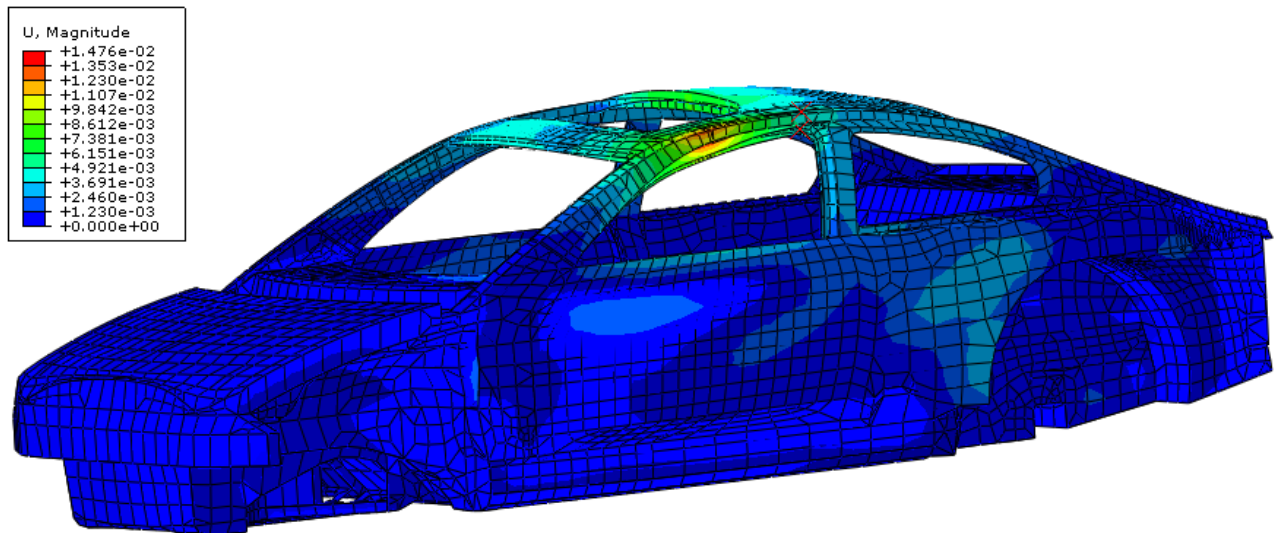
Página - 24 - de 50



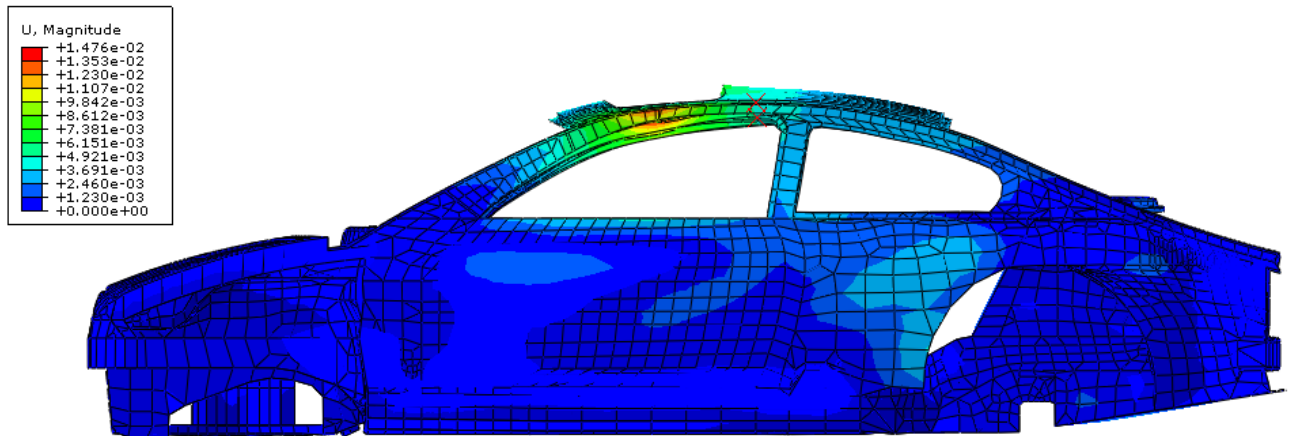
**Figura 21. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 1,4 mm**



**Figura 22. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 1,4 mm**



**Figura 23.** Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 1,4 mm



**Figura 24.** Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 1,4 mm



ACERO	FUERZA A (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
S355JR	48.412	23,5484 < 127	SI	11,030
DOCOL 1000DP		15,6969 < 127	SI	
DOCOL 1400M		14,7626 < 127	SI	

Tabla 3. Resultados de los desplazamientos para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M y peso del Pilar A Superior para un espesor de 1,4 mm

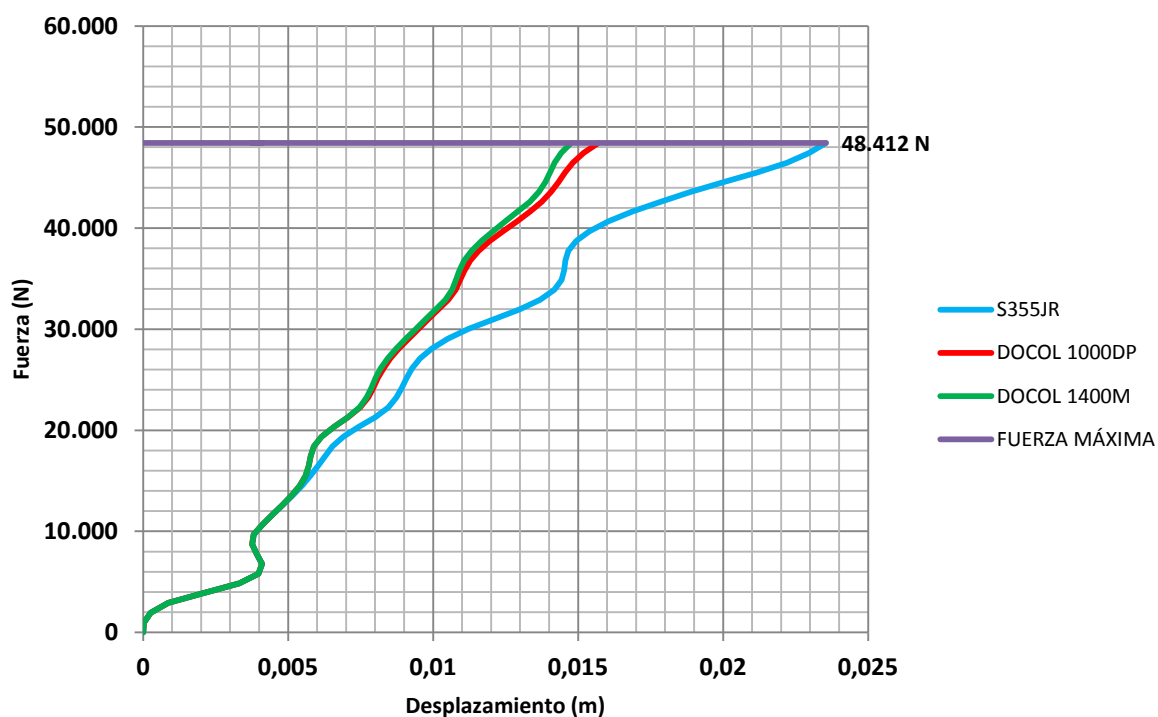


Gráfico 2. Desplazamiento-Fuerza para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M con un espesor de 1,4 mm

### 3.2.3. Espesor 2 mm

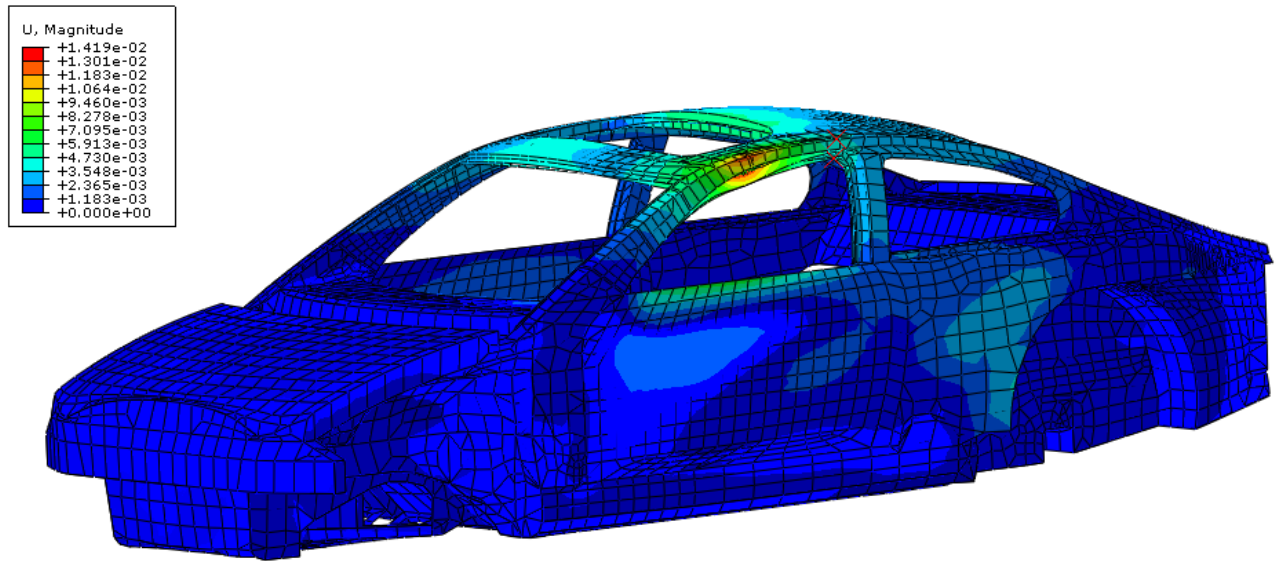


Figura 25. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 2 mm

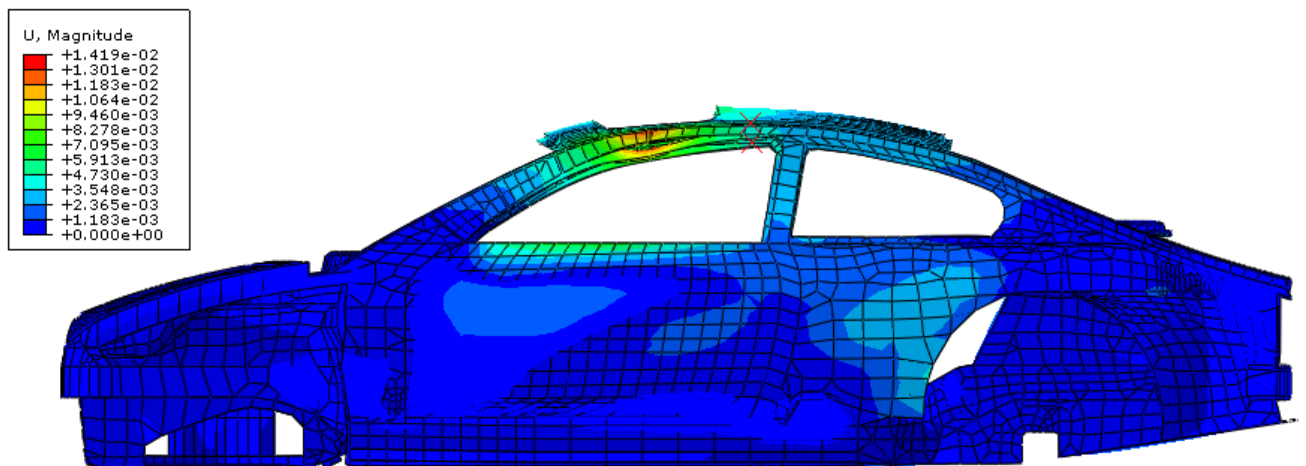


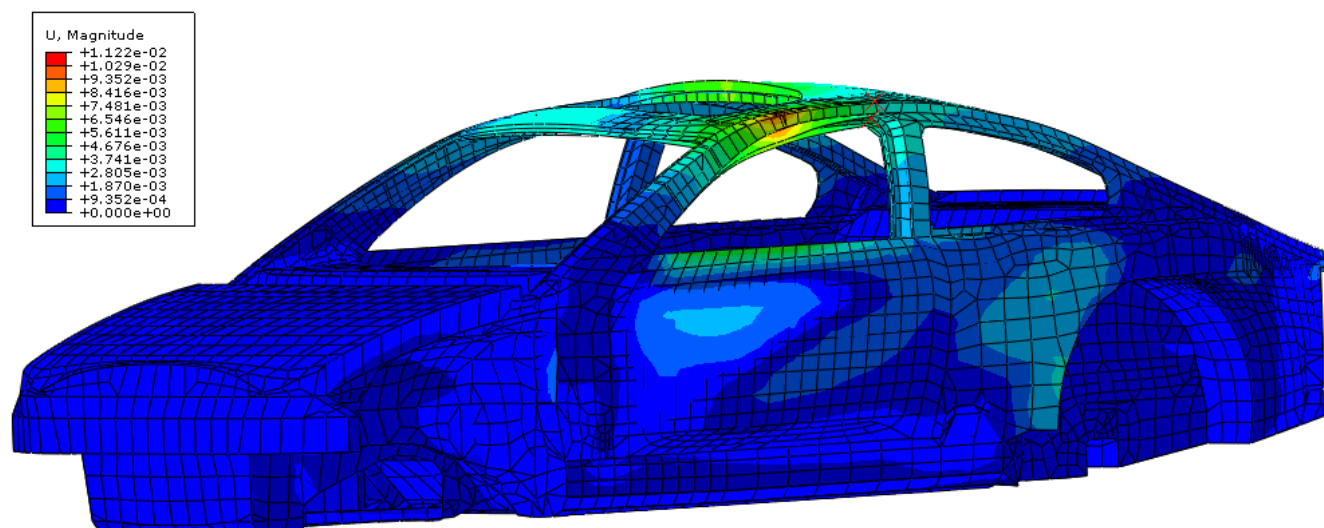
Figura 26. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero S355JR con espesor de 2 mm

Diego García Lázaro

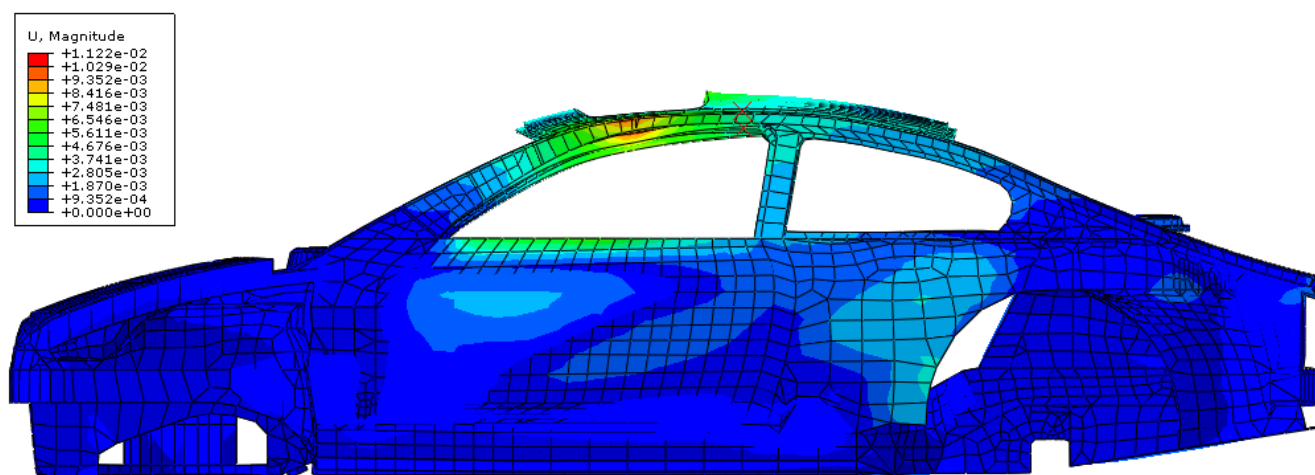
TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.

Página - 28 - de 50

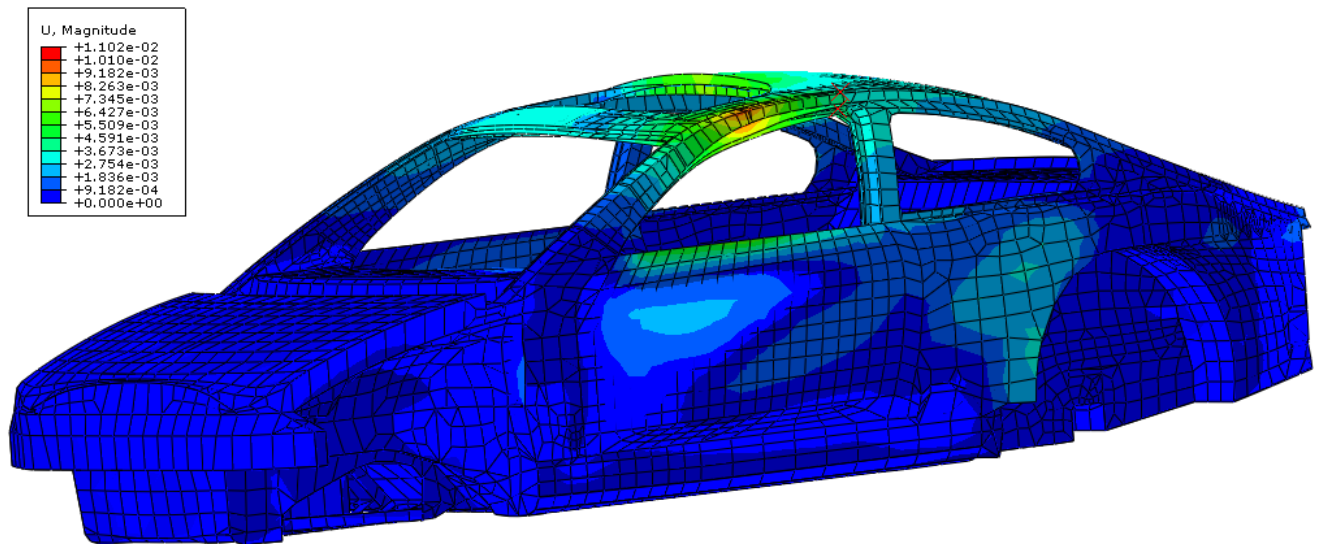




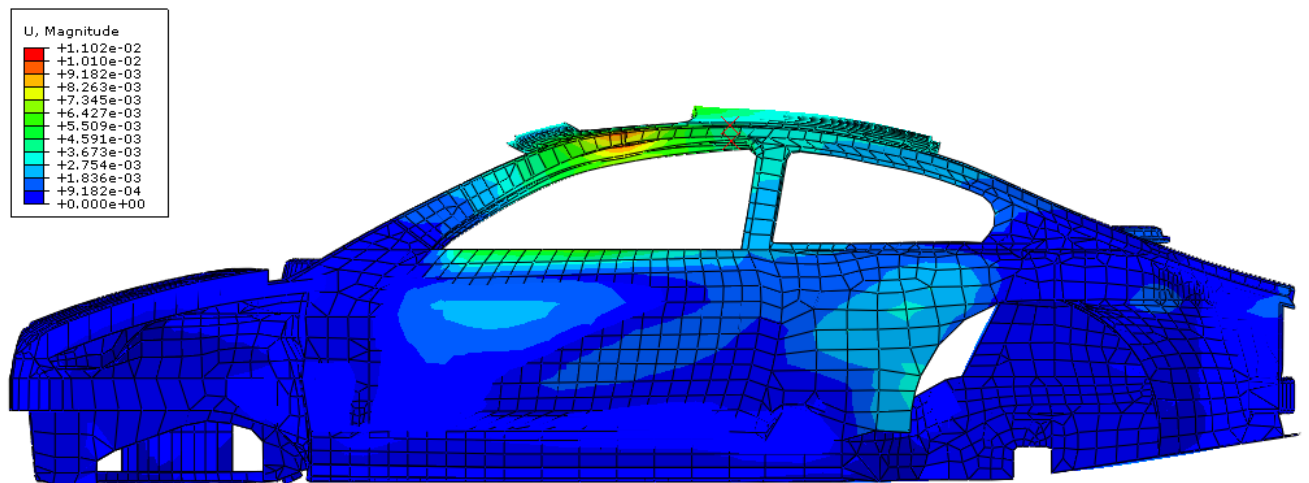
**Figura 27. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 2 mm**



**Figura 28. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1000DP con espesor de 2 mm**



**Figura 29. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 2 mm**



**Figura 30. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el acero DOCOL 1400M con espesor de 2 mm**

ACERO	FUERZ A (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
S355JR	48.412	14,1901 < 127	SI	15,760
DOCOL 1000DP		11,2219 < 127	SI	
DOCOL 1400M		11,0180 < 127	SI	

Tabla 4. Resultados de los desplazamientos para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M y peso del Pilar A Superior para un espesor de 2 mm

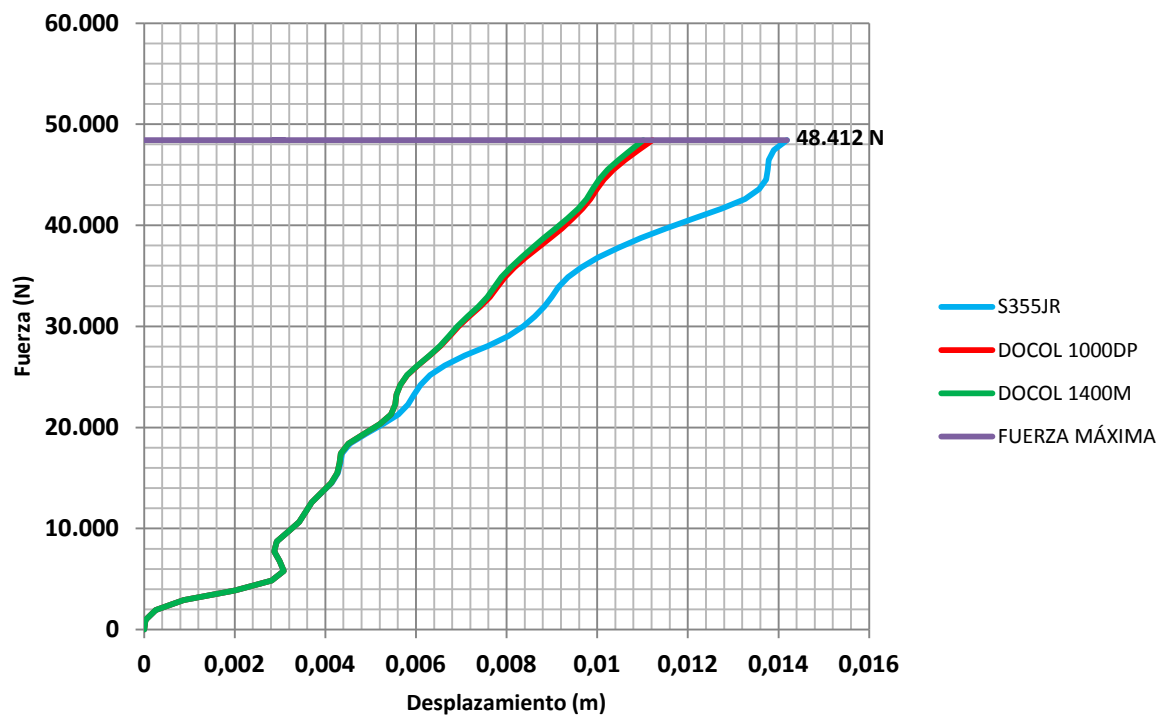


Gráfico 3. Desplazamiento-Fuerza para los aceros S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M con un espesor de 2 mm

### **3.3. Elección del espesor y tipo de aluminio del Pilar A Superior en base al desplazamiento obtenido**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en “Abaqus Explicit” para los diferentes espesores y aluminios utilizados (figuras 31 a 48). Posteriormente, se analizan los desplazamientos obtenidos en base al requerimiento establecido por la norma para comprobar si cumplen o no cumplen, así como el peso del Pilar A Superior (tablas 5 a 7). Finalmente, se representan gráficamente los desplazamientos obtenidos frente a la fuerza aplicada de los tres aceros analizados para cada uno de los espesores estudiados, con objeto de comparar visualmente su evolución a lo largo de la simulación (gráfico 4 a 6).

### 3.3.1. Espesor 0,8 mm

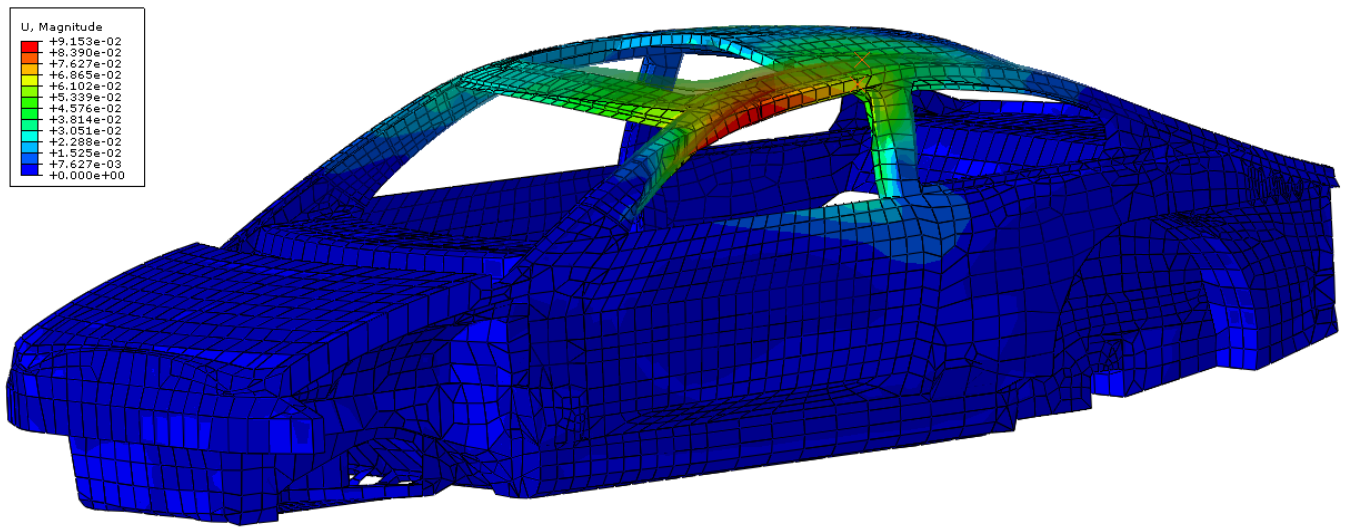


Figura 31. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 0,8 mm

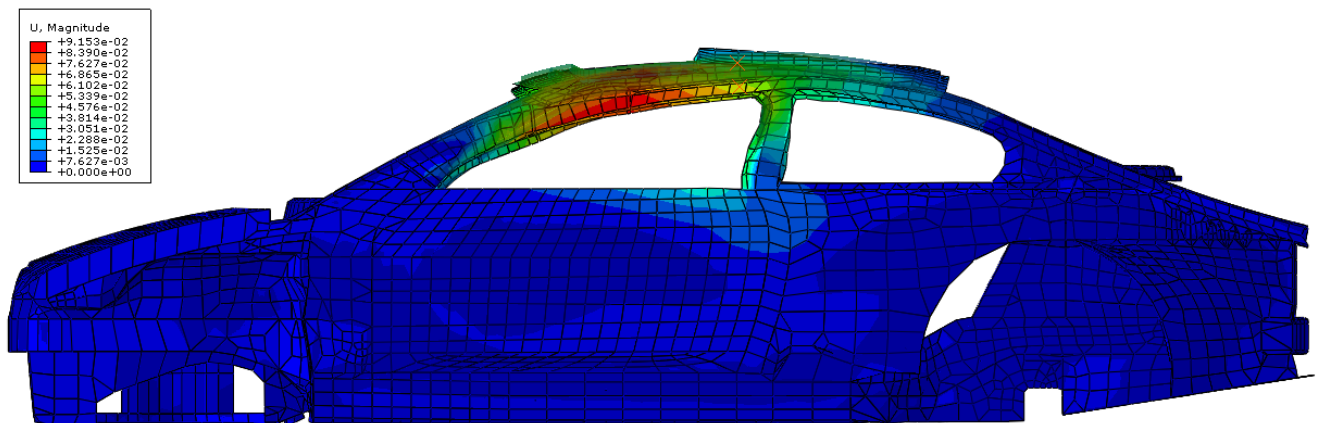
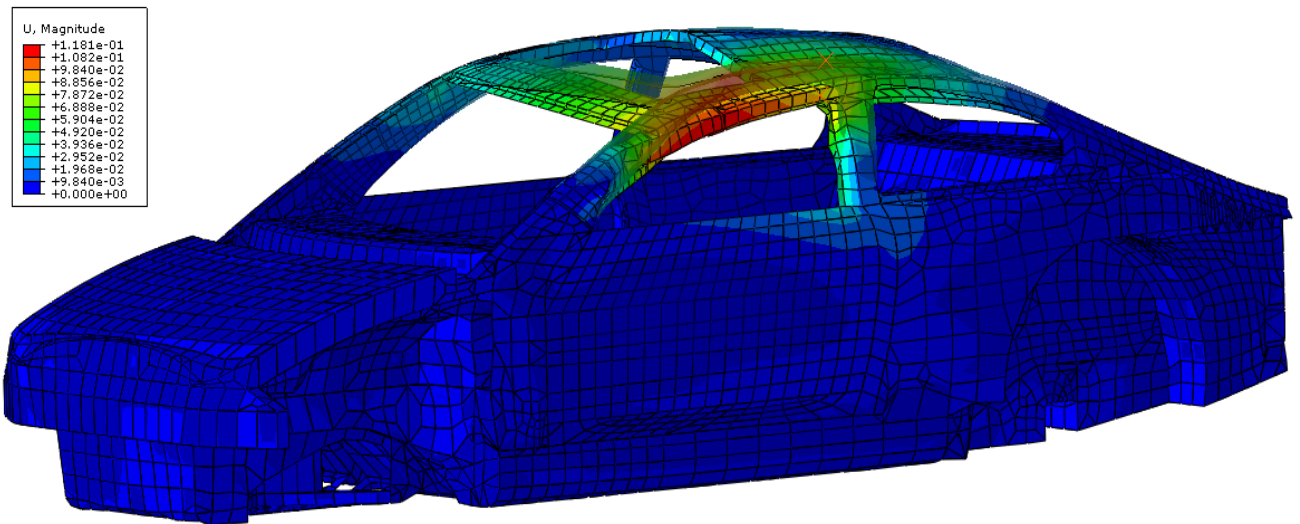


Figura 32. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 0,8 mm

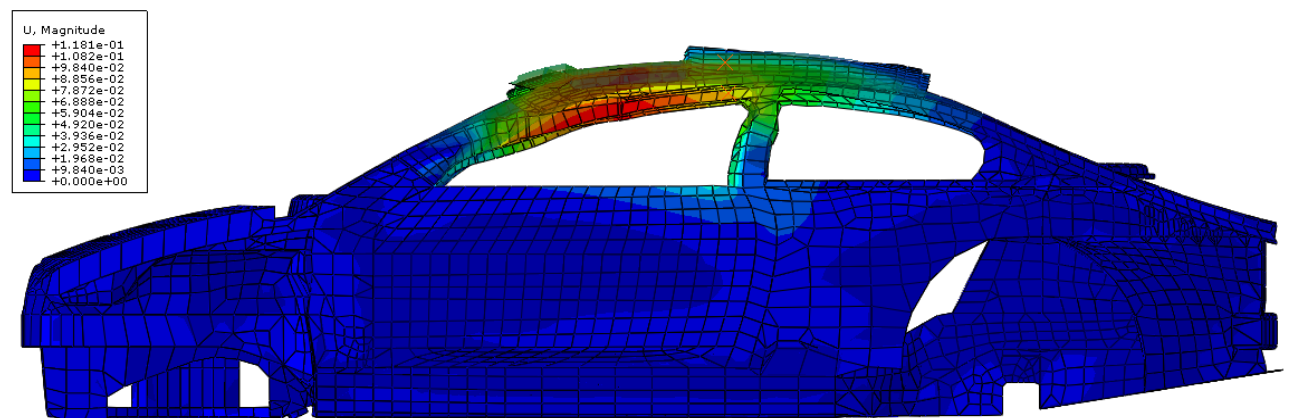
Diego García Lázaro

TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo

Página - 33 - de 50

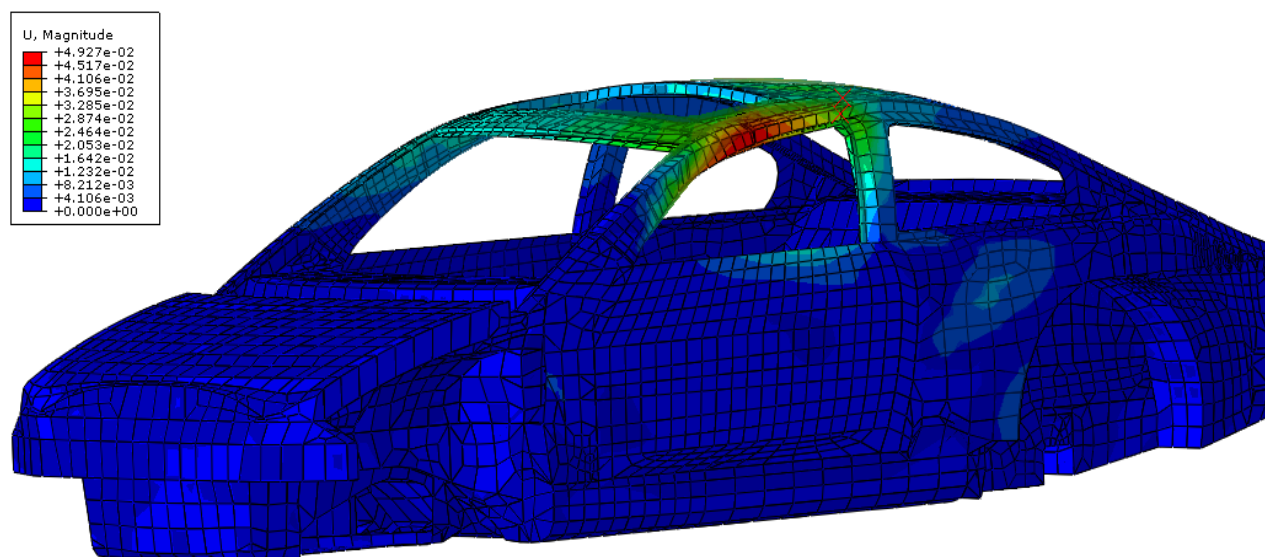


**Figura 33. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 0,8 mm**

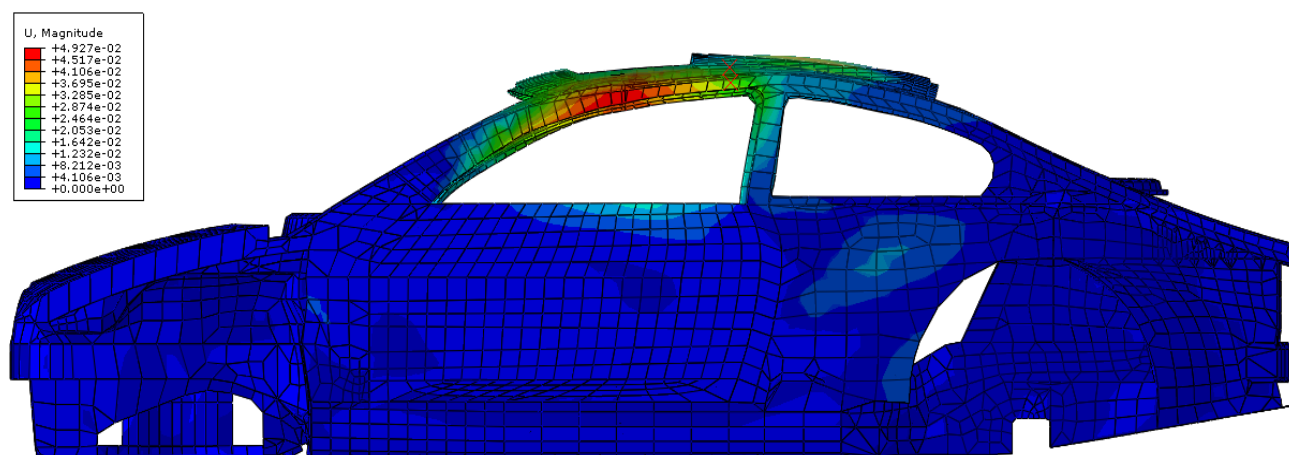


**Figura 34. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 0,8 mm**





**Figura 35. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 0,8 mm**



**Figura 36. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 0,8 mm**

ALUMINIO	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
EN AW 5083	48.412	81,5005 < 127	SI	2,181
EN AW 6082T4		105,9980 < 127	SI	
EN AW 6082T6		46,7958 < 127	SI	

Tabla 5. Resultados de los desplazamientos para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 y peso del Pilar A Superior para un espesor de 0,8 mm

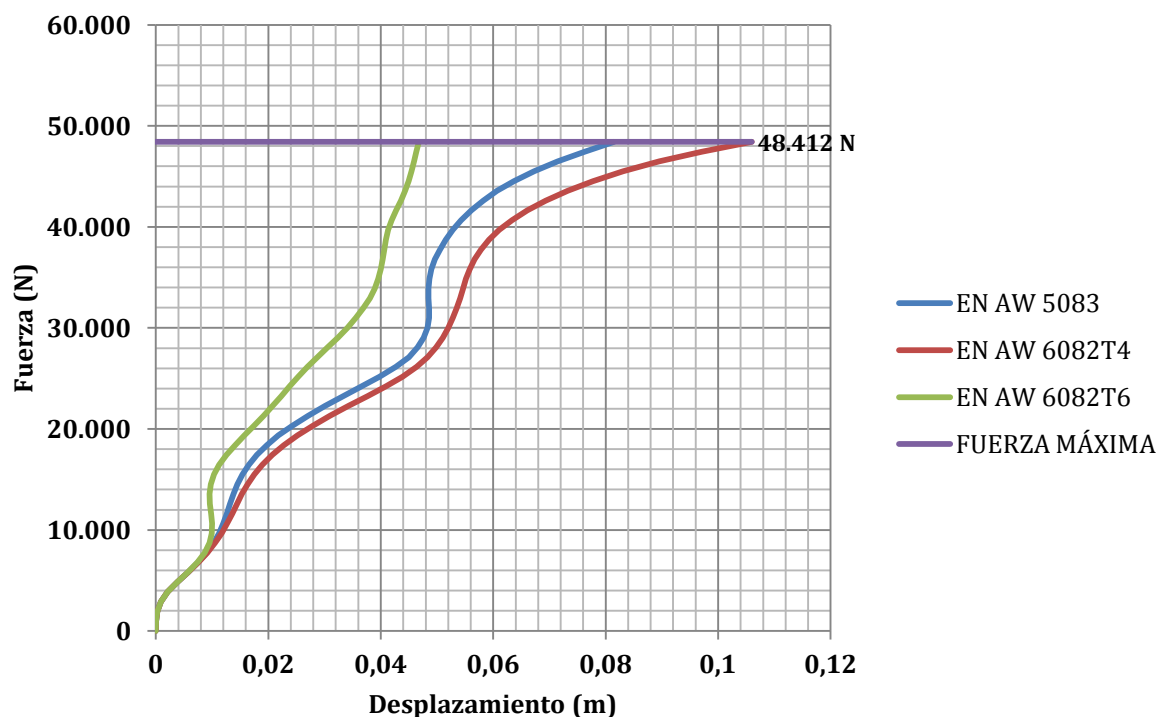


Gráfico 4. Desplazamiento-Fuerza para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 con un espesor de 0,8 mm



### 3.3.2. Espesor 1,4 mm

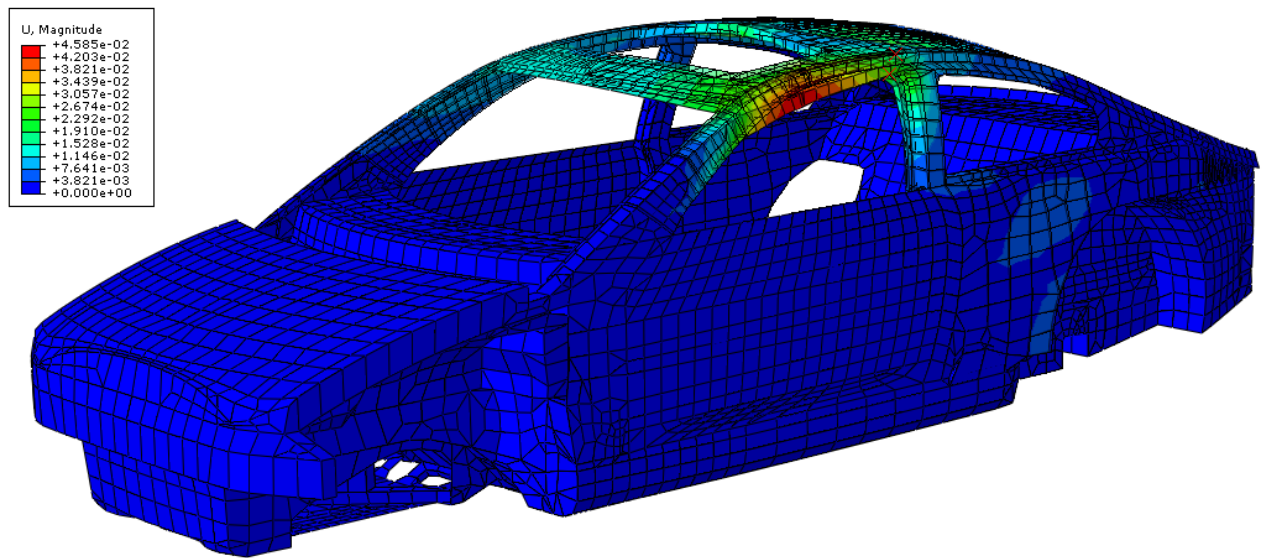


Figura 37. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 1,4 mm

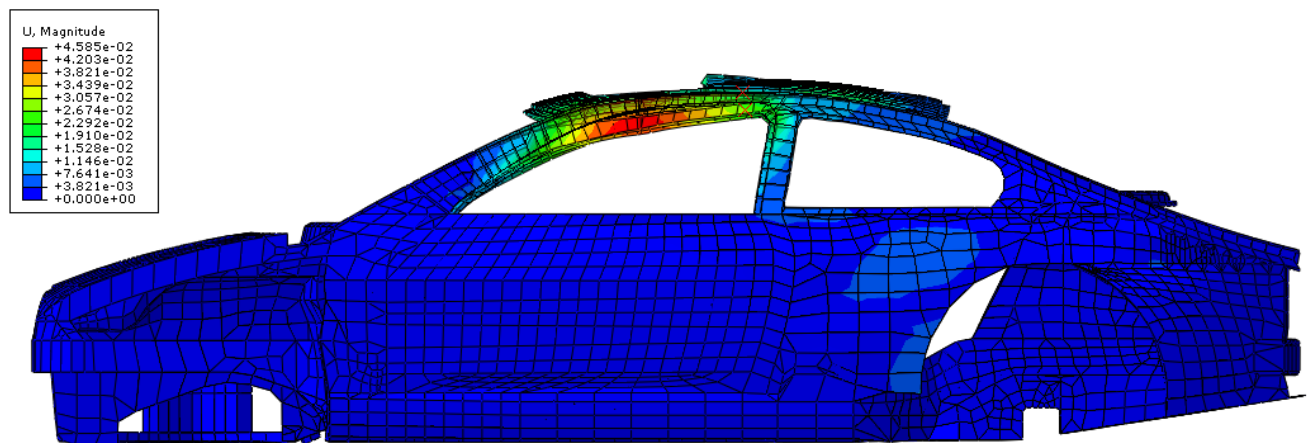
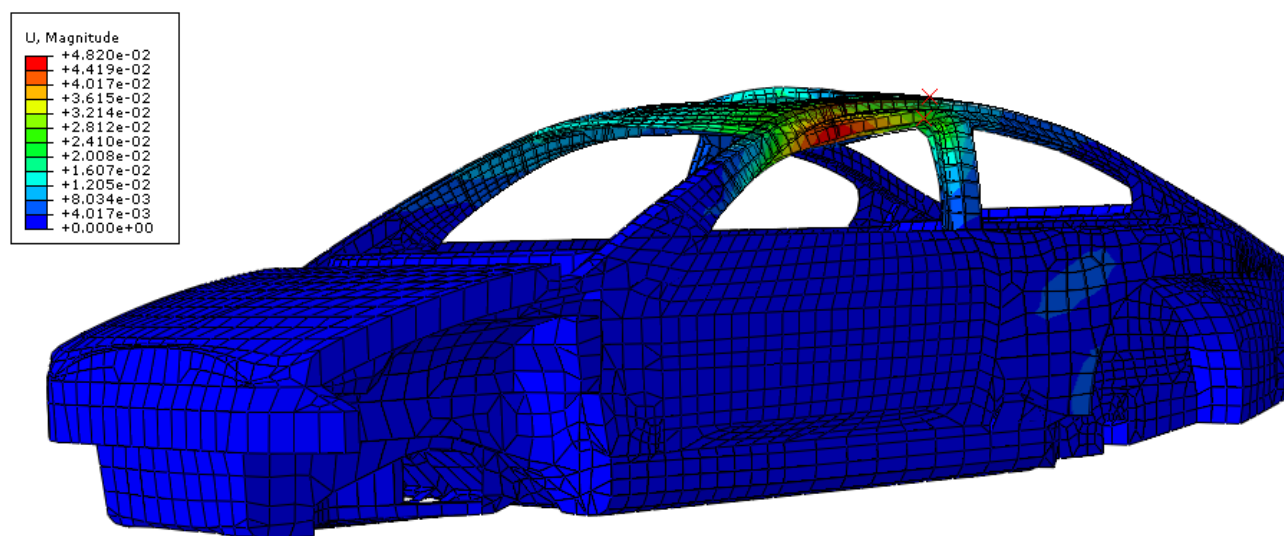


Figura 38. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 1,4 mm

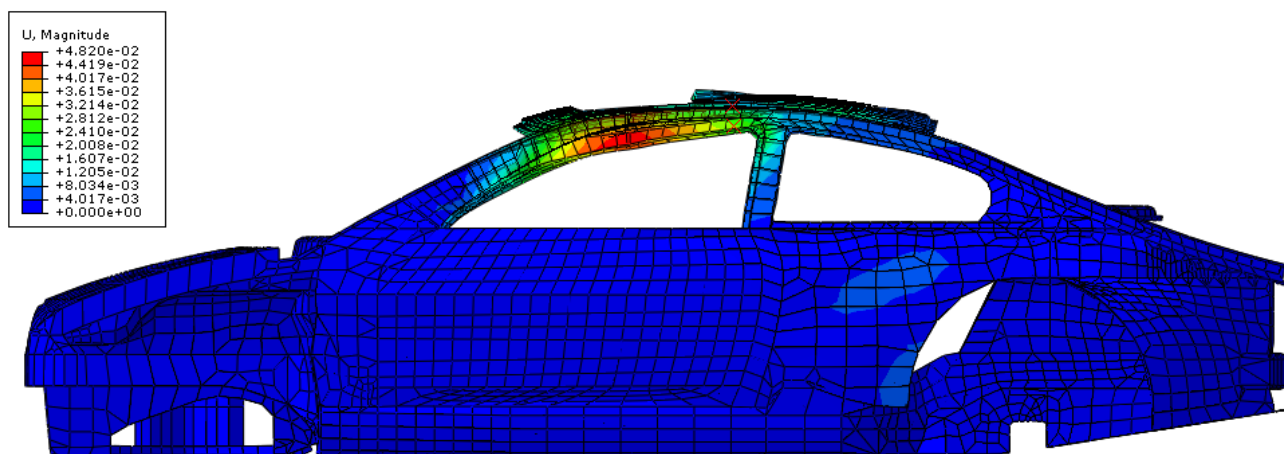
Diego García Lázaro

TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo

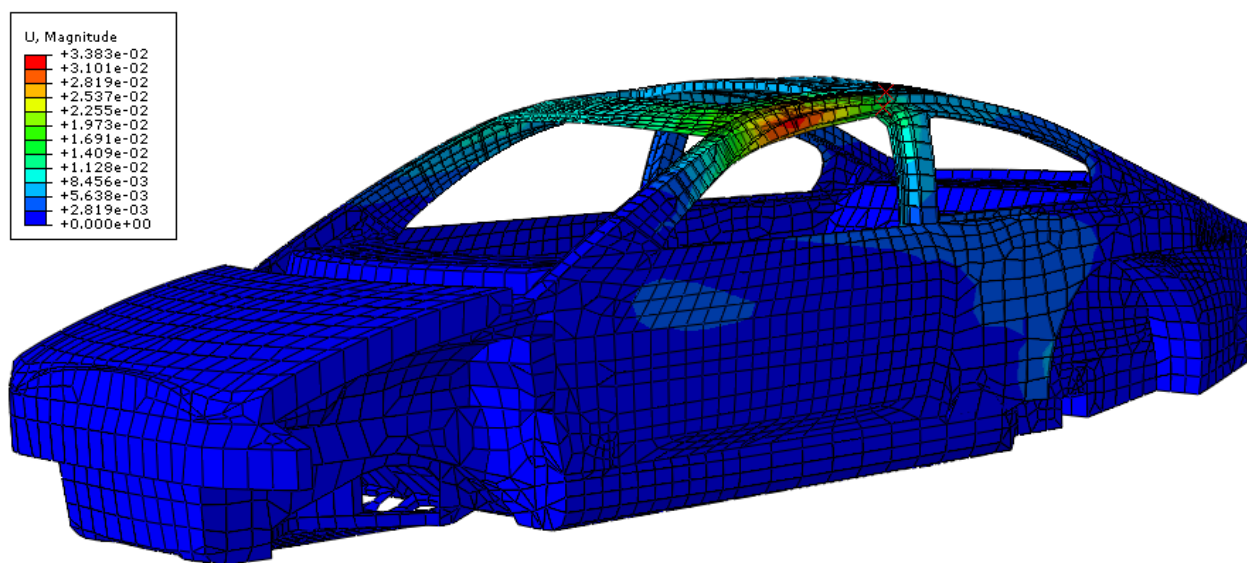
Página - 37 - de 50



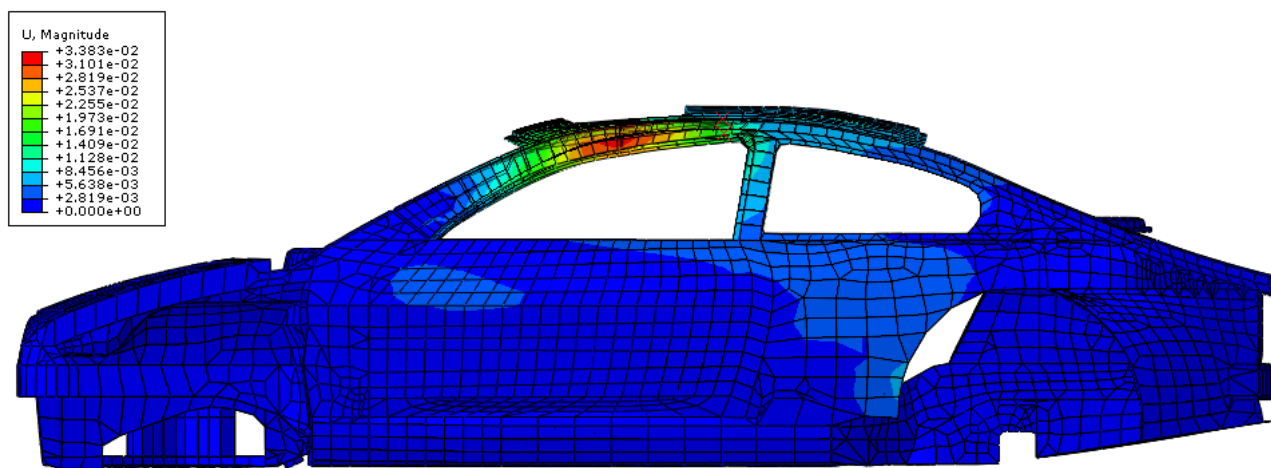
**Figura 39. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 1,4 mm**



**Figura 40. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 1,4 mm**



**Figura 41. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 1,4 mm**



**Figura 42. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 1,4 mm**

ALUMINIO	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
EN AW 5083	48.412	44,1572 < 127	SI	3,818
EN AW 6082T4		45,3594 < 127	SI	
EN AW 6082T6		33,8256 < 127	SI	

Tabla 6. Resultados de los desplazamientos para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 y peso del Pilar A Superior para un espesor de 1,4 mm

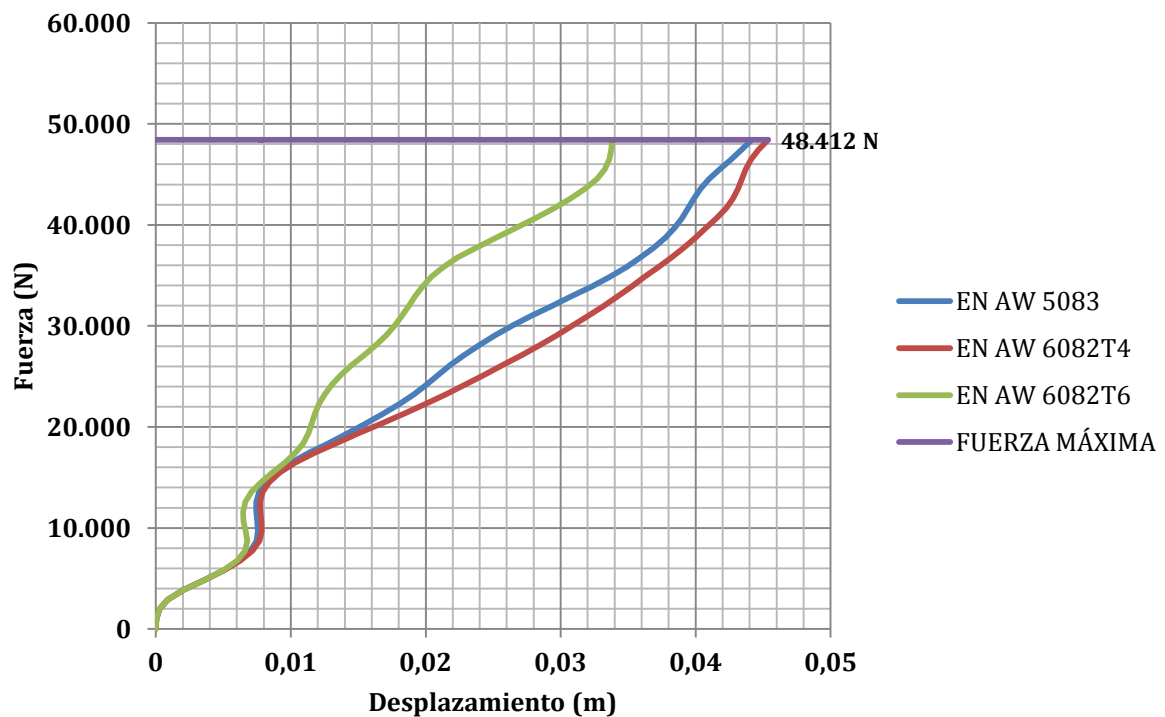


Gráfico 5. Desplazamiento-Fuerza para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 con un espesor de 1,4 mm

### 3.3.3. Espesor 2 mm

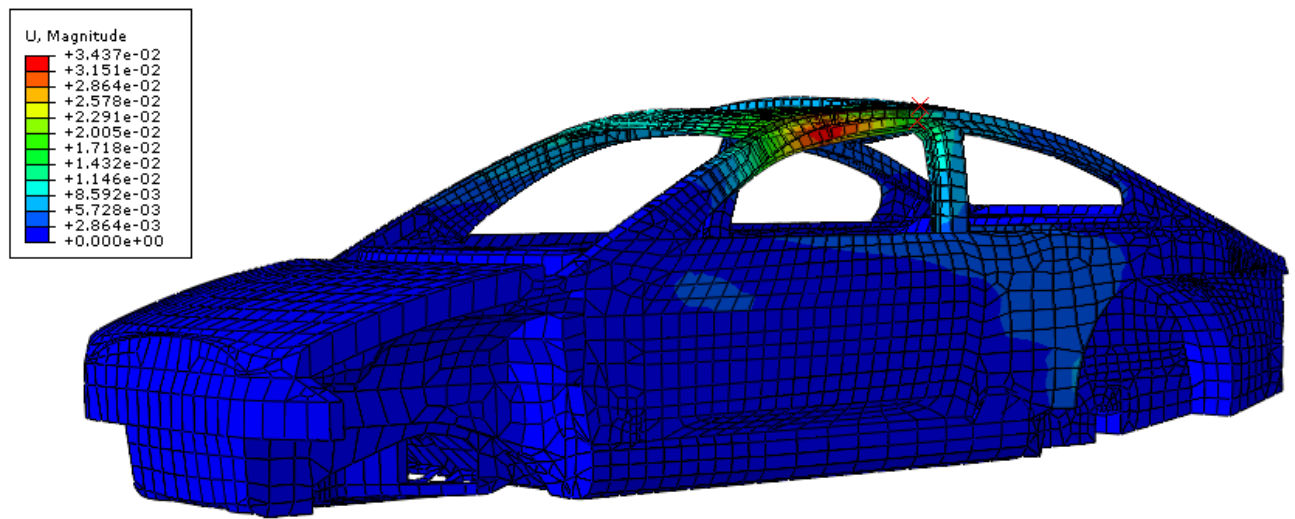


Figura 43. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 2 mm

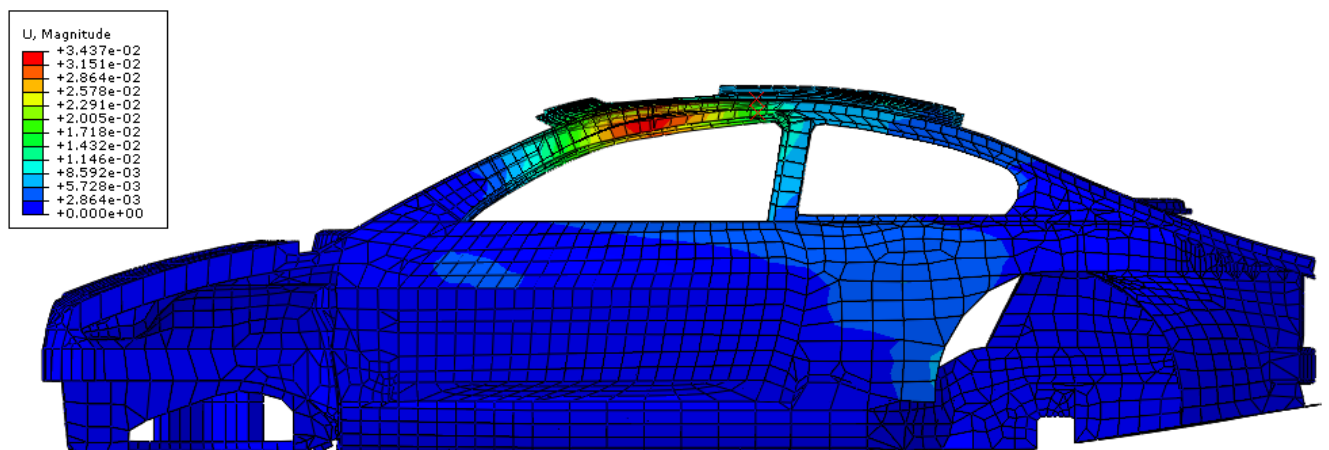
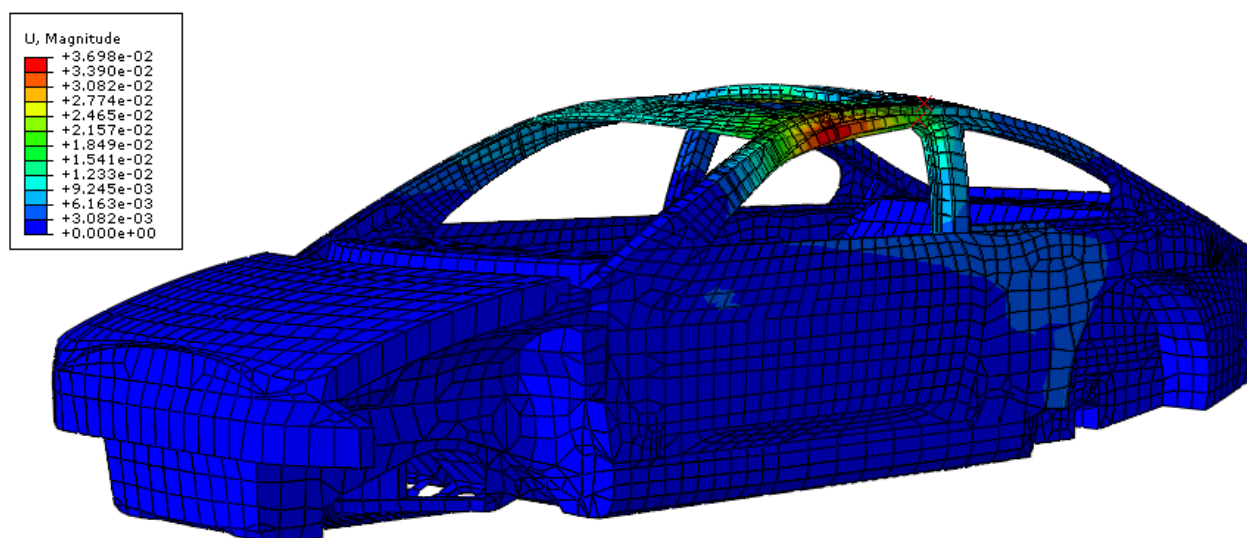
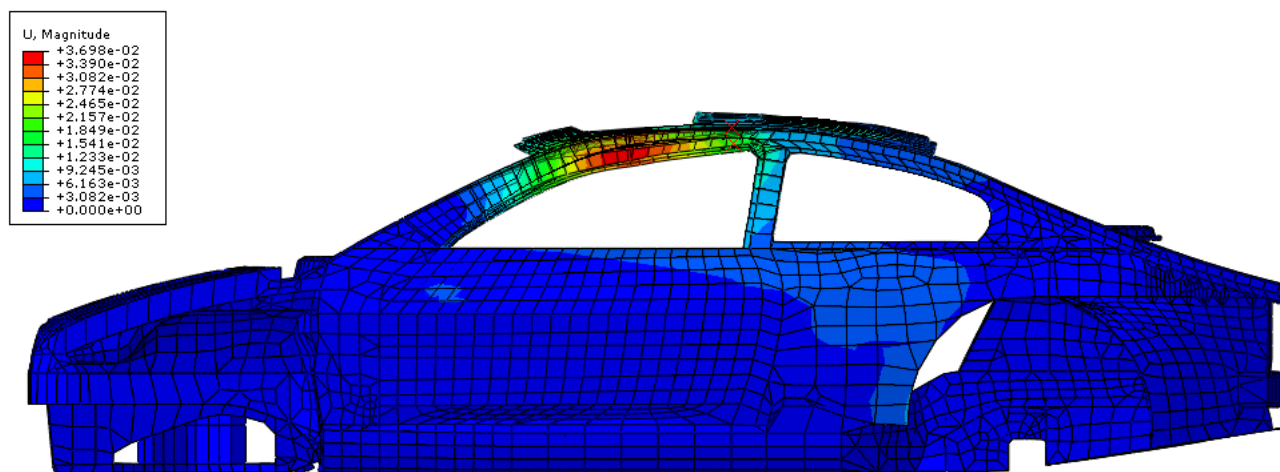


Figura 44. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 5083 con espesor de 2 mm



**Figura 45. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 2 mm**



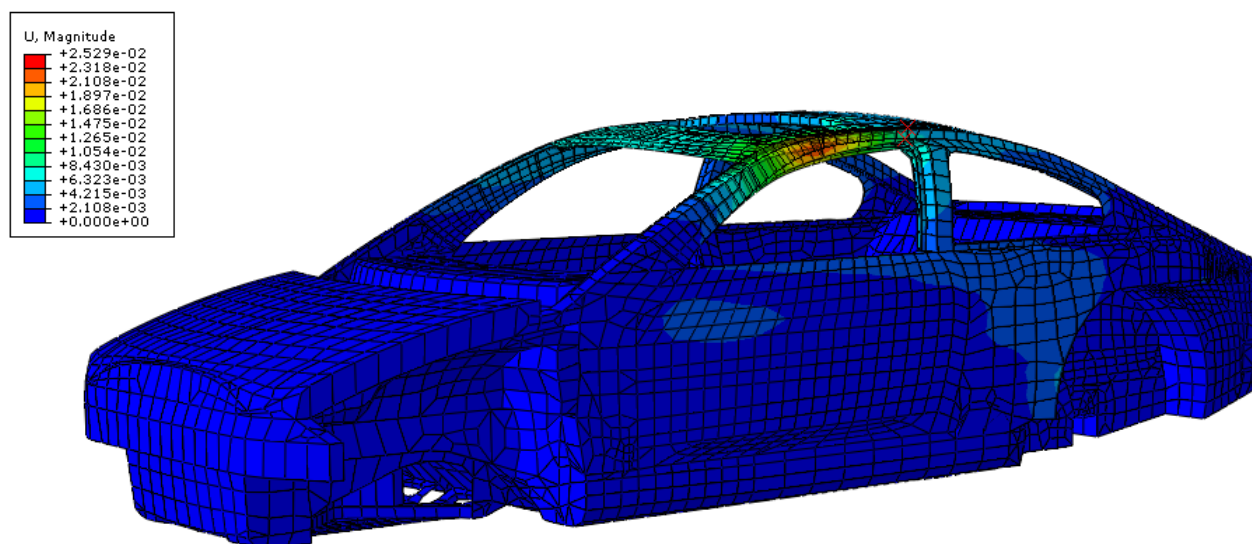
**Figura 46. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T4 con espesor de 2 mm**

Diego García Lázaro

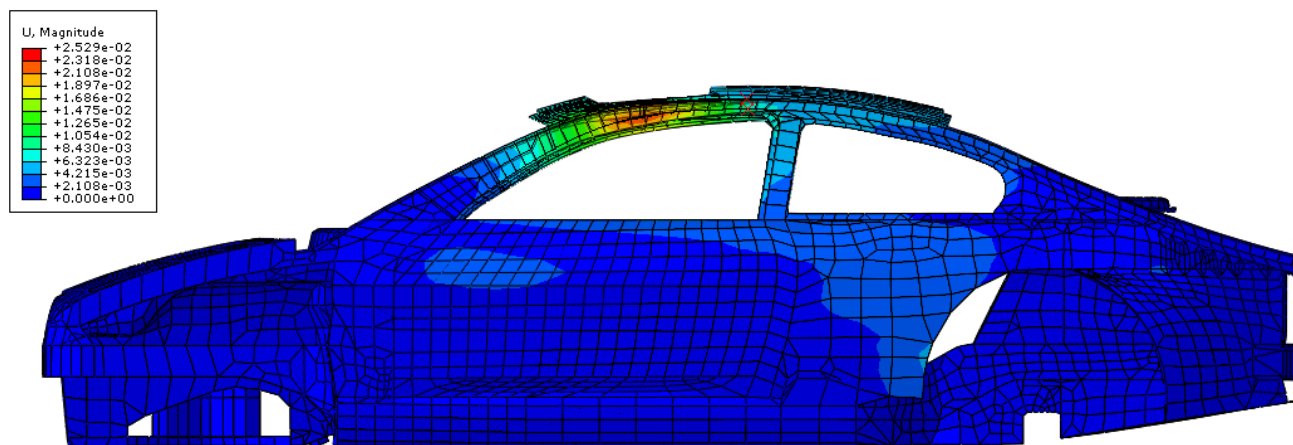
TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.

Página - 42 - de 50





**Figura 47. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 2 mm**



**Figura 48. Deformación sufrida por el Pilar A Superior en el momento en el que se alcanza la fuerza máxima para el aluminio EN AW 6082T6 con espesor de 2 mm**

ALUMINIO	FUERZA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	CUMPLE CON LA NORMA	PESO (kg)
EN AW 5083	48.412	34,3697 < 127	SI	5,455
EN AW 6082T4		36,9801 < 127	SI	
EN AW 6082T6		25,2911 < 127	SI	

Tabla 7. Resultados de los desplazamientos para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 y peso del Pilar A Superior para un espesor de 2 mm

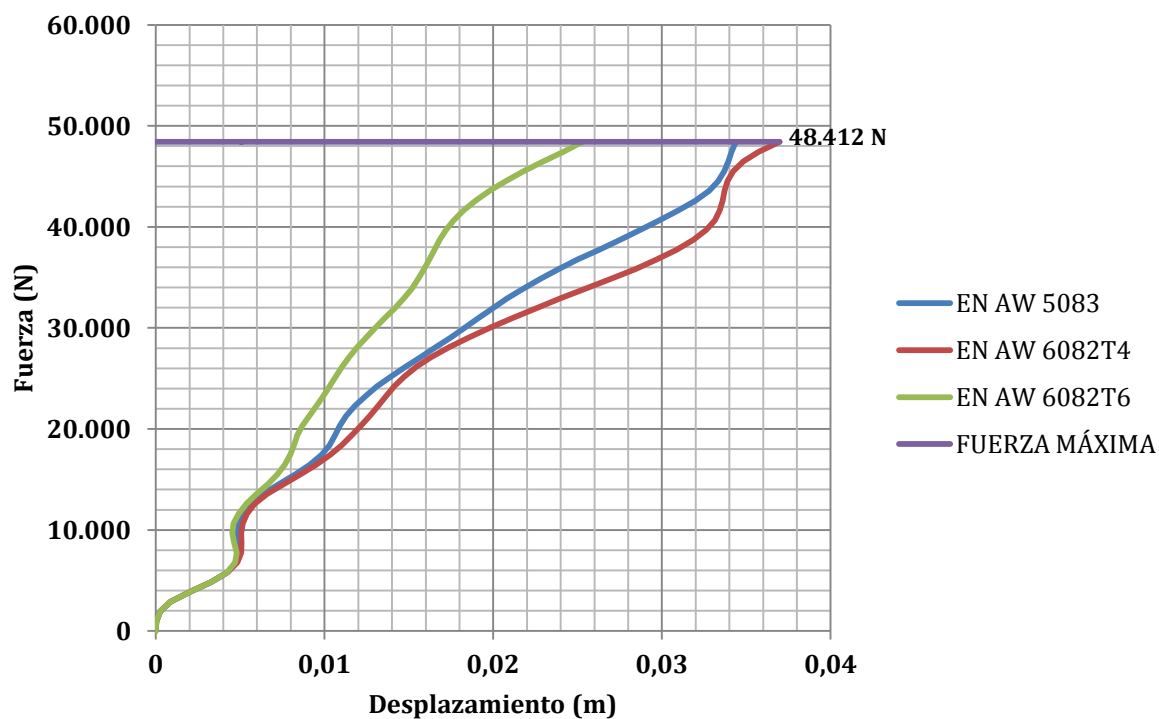


Gráfico 6. Desplazamiento-Fuerza para los aluminios EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6 con un espesor de 2 mm



#### 4. CONCLUSIONES

De la fase de preparación previa al cálculo se obtienen las siguientes conclusiones:

- Es importante partir de una geometría inicial que no presente errores de construcción, fundamentalmente de discontinuidad.
- Es importante realizar un mallado de la geometría adecuado al tipo de simulación, aumentando su calidad en aquellas zonas que se consideran críticas durante la simulación.
- Es importante establecer un tiempo de cálculo adecuado, puesto que prolongar el cálculo durante mucho tiempo no hace que los resultados obtenidos sean más precisos, al contrario, son prácticamente los mismos que los obtenidos con un tiempo de cálculo más pequeño, pero por contra obliga a disponer de mucha memoria en los equipos informáticos en los que se lanza la simulación ya que los ficheros obtenidos son de gran tamaño.

Los resultados obtenidos del programa de cálculo por elementos finitos, "Abaqus Explicit", utilizado para simular el ensayo, son coherentes según el balance de energías obtenido.

$$\text{Balance de Energía} = \text{ALLKE} + \text{ALLIE} + \text{ALLVD} + \text{ALLFD} - \text{ALLWK} \approx 0$$

Los aceros analizados (S355JR, DOCOL 1000DP y DOCOL 1400M) en los diferentes espesores propuestos (0,8, 1,4 y 2 mm) presentan un desplazamiento por debajo de los 127 mm establecidos por la norma (tabla 8 y gráfico 7), siendo el DOCOL 1400M, con un espesor de 2mm, el acero que presenta un menor desplazamiento. La razón por la que los resultados de los desplazamientos para los tres aceros son tan bajos, en comparación con lo establecido por la norma, es debido a que los vehículos se diseñan según varios criterios de resistencia, siendo algunos de ellos más restrictivos que el analizado en este estudio. Entre los más restrictivos destacar el criterio de resistencia a choque frontal, situación de impacto en la que el Pilar A Superior desempeña un papel clave en mantener el habitáculo de pasajeros indeformado.

ACERO	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 0,8 mm (mm)	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 1,4 mm (mm)	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 2 mm (mm)
S355JR	37,0748	23,5484	14,1901
DOCOL 1000DP	26,2669	15,6969	11,2219
DOCOL 1400M	22,9973	14,7626	11,0180

Tabla 8. Desplazamientos obtenidos para los diferentes espesores analizados en cada uno de los aceros estudiados

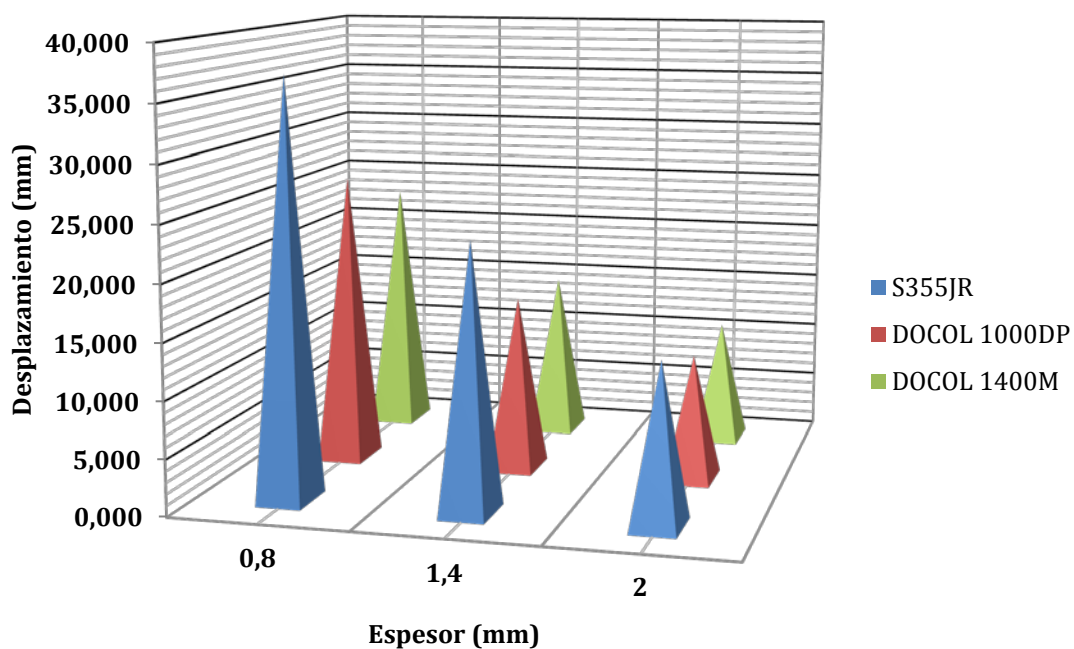


Gráfico 7. Comparativa del desplazamiento sufrido por el Pilar A Superior para cada uno de los espesores analizados en cada uno de los aceros estudiados

Los aluminios analizados (EN AW 5083, EN AW 6082T4 y EN AW 6082T6) en los diferentes espesores propuestos (0,8, 1,4 y 2 mm), al igual que los aceros, presentan unos desplazamientos inferiores a 127 mm (tabla 9 y gráfico 8), aunque según lo esperado los desplazamientos obtenidos son mayores que los de los aceros. De los tres aluminios analizados el que presenta un menor desplazamiento es el EN AW 6082T6 con un espesor de 2mm.

ACERO	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 0,8 mm (mm)	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 1,4 mm (mm)	DESPLAZAMIENTO PARA ESPESOR DE 2 mm (mm)
EN AW 5083	81,5005	44,1572	34,3697
EN AW 6082T4	105,9880	45,3594	36,9801
EN AW 6082T6	46,7958	33,8256	25,2911

Tabla 9. Desplazamientos obtenidos para los diferentes espesores analizados en cada uno de los aluminios estudiados

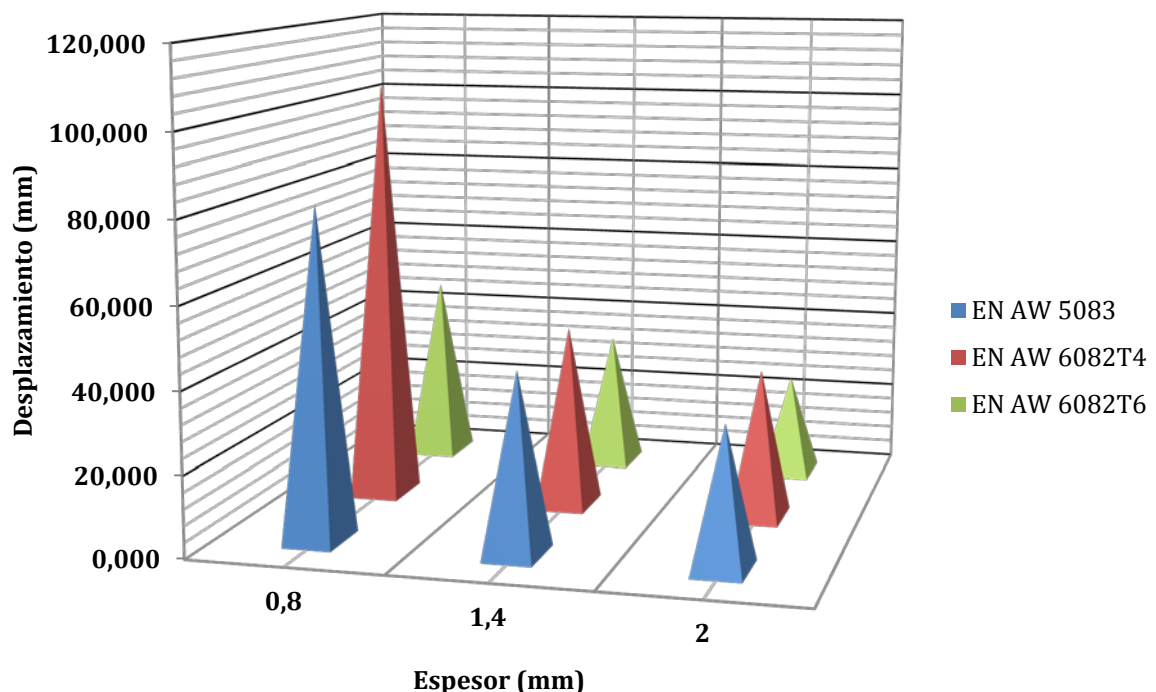


Gráfico 8. Comparativa del desplazamiento sufrido por el Pilar A Superior para cada uno de los espesores analizados en cada uno de los aluminios estudiados

Dado que se cumplen las exigencias de la norma por parte de los aluminios estudiados en los diferentes espesores propuestos, se recomienda fabricar el Pilar A Superior en aluminio puesto que se produce un ahorro en peso importante (tabla 10).

ESPESOR (mm)	PESO DEL PILAR A SUPERIOR EN ACERO (kg)	PESO DEL PILAR A SUPERIOR EN ALUMINIO (kg)	AHORRO EN PESO (%)
0,8	6,302	2,181	65,4
1,4	11,030	3,818	65,4
2	15,760	5,455	65,4

**Tabla 10. Ahorro en peso a la hora de fabricar el Pilar A Superior en acero o aluminio**

Finalmente, si se analizan de forma conjunta todos datos de desplazamiento, espesor y peso para cada uno de los materiales estudiados, se obtiene que el Pilar A Superior óptimo debe ser fabricado con el aluminio EN AW 6082T4 con un espesor de 0,8 mm.

Como líneas futuras de estudio se propone:

- Analizar el comportamiento del Pilar A Superior frente a un choque frontal para comprobar la idoneidad de los materiales y espesores seleccionados.
- La optimización del mismo a través del uso de las nuevas técnicas de fabricación utilizadas actualmente, Tailored Blank y Tailored Rolled Blank.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manuales de reparación elaborados por el Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos, S.A. – Centro Zaragoza.
- [2] Información técnica sobre materiales empleados en carrocerías de automóviles elaborada por el Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos, S.A. – Centro Zaragoza.
- [3] “Golf 7 Tech Highlights our largest preview of the Golf 7 yet...” por Jamie Vondruska.
- [4] <http://www.arcelormittal.com>.
- [5] Tesis doctoral “Análisis transversal del fenómeno de vuelco en vehículo pesados y de grandes dimensiones” por David Valladares Hernando.
- [6] Abaqus Analysis User’s Manual.
- [7] APTA. Asociación para la promoción técnica del acero.
- [8] <http://www.ssab.com>.
- [9] <http://www.amag.at>.

## 6. ANEXOS

*Diego García Lázaro*

*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.*

**Página - 50 - de 50**

# **Anexo 1:**

## **FMVSS216:**

### **Normativa de ensayo de techo**

*Diego García Lázaro*

*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.*

§571.216a

49 CFR Ch. V (10-1-10 Edition)

FIGURE 2 TO §571.216

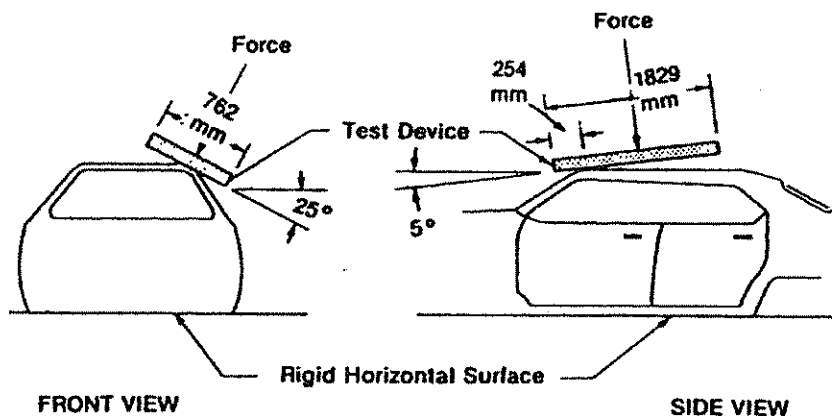


Figure 2.- Test Device Location And Application To The Roof

[36 FR 23300, Dec. 8, 1971, as amended at 38 FR 21930, Aug. 14, 1973; 56 FR 15517, Apr. 17, 1991; 58 FR 5633, Jan. 22, 1993; 60 FR 13647, Mar. 14, 1995; 64 FR 22578, Apr. 27, 1999; 65 FR 4581, Jan. 31, 2000; 74 FR 22384, May 12, 2009]

EDITORIAL NOTE: At 74 FR 22384, May 12, 2009, §571.216 was amended by revising S3; however, the amendment included two paragraphs (a).

**§571.216a Standard No. 216a; Roof crush resistance; Upgraded standard.**

**S1. Scope.** This standard establishes strength requirements for the passenger compartment roof.

**S2. Purpose.** The purpose of this standard is to reduce deaths and injuries due to the crushing of the roof into the occupant compartment in rollover crashes.

**S3. Application, incorporation by reference, and selection of compliance options.**

**S3.1 Application.**

(a) This standard applies to passenger cars, and to multipurpose passenger vehicles, trucks and buses with a GVWR of 4,536 kilograms (10,000 pounds) or less, according to the implementation schedule specified in S8 and S9 of this section. However, it does not apply to—

- (1) School buses;
- (2) Vehicles that conform to the rollover test requirements (S5.3) of Stand-

ard No. 208 (§571.208) by means that require no action by vehicle occupants;

(3) Convertibles, except for optional compliance with the standard as an alternative to the rollover test requirement (S5.3) of Standard No. 208; or

(4) Trucks built in two or more stages with a GVWR greater than 2,722 kilograms (6,000 pounds) not built using a chassis cab or using an incomplete vehicle with a full exterior van body.

(b) At the option of the manufacturer, vehicles within either of the following categories may comply with the roof crush requirements (S4) of Standard No. 220 (§571.220) instead of the requirements of this standard:

- (1) Vehicles built in two or more stages, other than vehicles built using a chassis cab;
- (2) Vehicles with a GVWR greater than 2,722 kilograms (6,000 pounds) that have an altered roof as defined by S4 of this section.



(c) Manufacturers may comply with the standard in this §571.216a as an alternative to §571.216.

**S3.2 Incorporation by reference.** Society of Automotive Engineers (SAE) Standard J826 "Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation," SAE J826 (rev. July 1995) is incorporated by reference in S7.2 of this section. The Director of the Federal Register has approved the incorporation by reference of this material in accordance with 5 U.S.C. 552(a) and 1 CFR part 51. A copy of SAE J826 (rev. Jul 95) may be obtained from SAE at the Society of Automotive Engineers, Inc., 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096. Phone: 1-724-776-4841; Web: <http://www.sae.org>. A copy of SAE J826 (July 1995) may be inspected at NHTSA's Technical Information Services, 1200 New Jersey Avenue, Washington, DC 20590, or at the National Archives and Records Administration (NARA). For information on the availability of this material at NARA, call 202-741-6030, or go to: [http://www.archives.gov/federal\\_register/code\\_of\\_federal\\_regulations/ibr\\_locations.html](http://www.archives.gov/federal_register/code_of_federal_regulations/ibr_locations.html).

**S3.3 Selection of compliance option.** Where manufacturer options are specified, the manufacturer shall select the option by the time it certifies the vehicle and may not thereafter select a different option for the vehicle. Each manufacturer shall, upon the request from the National Highway Traffic Safety Administration, provide information regarding which of the compliance options it selected for a particular vehicle or make/model.

**S4. Definitions.**

**Altered roof** means the replacement roof on a motor vehicle whose original roof has been removed, in part or in total, and replaced by a roof that is higher than the original roof. The replacement roof on a motor vehicle whose original roof has been replaced, in whole or in part, by a roof that consists of glazing materials, such as those in T-tops and sunroofs, and is located at the level of the original roof, is not considered to be an altered roof.

**Convertible** means a vehicle whose A-pillars are not joined with the B-pillars (or rearmost pillars) by a fixed, rigid structural member.

**S5. Requirements.**

**S5.1** When the test device described in S6 is used to apply a force to a vehicle's roof in accordance with S7, first to one side of the roof and then to the other side of the roof:

(a) The lower surface of the test device must not move more than 127 millimeters, and

(b) No load greater than 222 Newtons (50 pounds) may be applied to the head form specified in S5.2 of 49 CFR 571.201 located at the head position of a 50th percentile adult male in accordance with S7.2 of this section.

**S5.2** The maximum applied force to the vehicle's roof in Newtons is:

(a) For vehicles with a GVWR of 2,722 kilograms (6,000 pounds) or less, any value up to and including 3.0 times the unloaded vehicle weight of the vehicle, measured in kilograms and multiplied by 9.8, and

(b) For vehicles with a GVWR greater than 2,722 kilograms (6,000 pounds), any value up to and including 1.5 times the unloaded vehicle weight of the vehicle, measured in kilograms and multiplied by 9.8.

**S6. Test device.** The test device is a rigid unyielding block whose lower surface is a flat rectangle measuring 762 millimeters by 1,829 millimeters.

**S7. Test procedure.** Each vehicle must be capable of meeting the requirements of S5 when tested in accordance with the procedure in S7.1 through S7.6.

**S7.1** Support the vehicle off its suspension and rigidly secure the sills and the chassis frame (when applicable) of the vehicle on a rigid horizontal surface(s) at a longitudinal attitude of 0 degrees  $\pm$  0.5 degrees. Measure the longitudinal vehicle attitude along both the driver and passenger sill. Determine the lateral vehicle attitude by measuring the vertical distance between a level surface and a standard reference point on the bottom of the driver and passenger side sills. The difference between the vertical distance measured on the driver side and the passenger side sills is not more than  $\pm$  10 mm. Close all windows, close and lock all doors, and close and secure any moveable roof panel, moveable shade, or removable roof structure in place

over the occupant compartment. Remove roof racks or other non-structural components. For a vehicle built on a chassis-cab incomplete vehicle that has some portion of the added body structure above the height of the incomplete vehicle, remove the entire added body structure prior to testing (the vehicle's unloaded vehicle weight as specified in S5 includes the weight of the added body structure).

S7.2 Adjust the seats in accordance with S8.3.1 of 49 CFR 571.214. Position the top center of the head form specified in S5.2 of 49 CFR 571.201 at the location of the top center of the Head Restraint Measurement Device (HRMD) specified in 49 CFR 571.202a, in the front outboard designated seating position on the side of the vehicle being tested as follows:

(a) Position the three dimensional manikin specified in Society of Automotive Engineers (SAE) Surface Vehicle Standard J826, revised July 1995, "Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation," (incorporated by reference, see paragraph S3.2), in accordance to the seating procedure specified in that document, except that the length of the lower leg and thigh segments of the H-point machine are adjusted to 414 and 401 millimeters, respectively, instead of the 50th percentile values specified in Table 1 of SAE J826 (July 1995).

(b) Remove four torso weights from the three-dimensional manikin specified in SAE J826 (July 1995) (two from the left side and two from the right side), replace with two HRMD torso weights (one on each side), and attach and level the HRMD head form.

(c) Mark the location of the top center of the HRMD in three dimensional space to locate the top center of the head form specified in S5.2 of 49 CFR 571.201.

S7.3 Orient the test device as shown in Figure 1 of this section, so that—

(a) Its longitudinal axis is at a forward angle (in side view) of 5 degrees ( $\pm 0.5$  degrees) below the horizontal, and is parallel to the vertical plane through the vehicle's longitudinal centerline;

(b) Its transverse axis is at an outboard angle, in the front view projection, of 25 degrees below the horizontal ( $\pm 0.5$  degrees).

S7.4 Maintaining the orientation specified in S7.3 of this section—

(a) Lower the test device until it initially makes contact with the roof of the vehicle.

(b) Position the test device so that—

(1) The longitudinal centerline on its lower surface is within 10 mm of the initial point of contact, or on the center of the initial contact area, with the roof; and

(2) The midpoint of the forward edge of the lower surface of the test device is within 10 mm of the transverse vertical plane 254 mm forward of the forwardmost point on the exterior surface of the roof, including windshield trim, that lies in the longitudinal vertical plane passing through the vehicle's longitudinal centerline.

S7.5 Apply force so that the test device moves in a downward direction perpendicular to the lower surface of the test device at a rate of not more than 13 millimeters per second until reaching the force level specified in S5. Guide the test device so that throughout the test it moves, without rotation, in a straight line with its lower surface oriented as specified in S7.3(a) and S7.3(b). Complete the test within 120 seconds.

S7.6 Repeat the test on the other side of the vehicle.

S8. *Phase-in schedule for vehicles with a GVWR of 2,722 kilograms (6,000 pounds) or less.*

S8.1 *Vehicles manufactured on or after September 1, 2012, and before September 1, 2013.* For vehicles manufactured on or after September 1, 2012, and before September 1, 2013, the number of vehicles complying with this standard must not be less than 25 percent of:

(a) The manufacturer's average annual production of vehicles manufactured on or after September 1, 2009, and before September 1, 2012; or

(b) The manufacturer's production on or after September 1, 2012, and before September 1, 2013.

S8.2 *Vehicles manufactured on or after September 1, 2013, and before September 1, 2014.* For vehicles manufactured on or after September 1, 2013, and before September 1, 2014, the number of vehicles complying with this standard must not be less than 50 percent of:

(a) The manufacturer's average annual production of vehicles manufactured on or after September 1, 2010, and before September 1, 2013; or

(b) The manufacturer's production on or after September 1, 2013, and before September 1, 2014.

**S8.3 Vehicles manufactured on or after September 1, 2014, and before September 1, 2015.** For vehicles manufactured on or after September 1, 2014, and before September 1, 2015, the number of vehicles complying with this standard must not be less than 75 percent of:

(a) The manufacturer's average annual production of vehicles manufactured on or after September 1, 2011, and before September 1, 2014; or

(b) The manufacturer's production on or after September 1, 2014, and before September 1, 2015.

**S8.4 Vehicles manufactured on or after September 1, 2015.** Except as provided in S8.8, each vehicle manufactured on or after September 1, 2015 must comply with this standard.

**S8.5 Calculation of complying vehicles.**

(a) For purpose of complying with S8.1, a manufacturer may count a vehicle if it is certified as complying with this standard and is manufactured on or after September 1, 2012, but before September 1, 2013.

(b) For purposes of complying with S8.2, a manufacturer may count a vehicle if it:

(1) Is certified as complying with this standard and is manufactured on or after September 1, 2012, but before September 1, 2014; and

(2) Is not counted toward compliance with S8.1.

(c) For purposes of complying with S8.3, a manufacturer may count a vehicle if it:

(1) Is certified as complying with this standard and is manufactured on or after September 1, 2012, but before September 1, 2015; and

(2) Is not counted toward compliance with S8.1 or S8.2.

**S8.6 Vehicles produced by more than one manufacturer.**

**S8.6.1** For the purpose of calculating average annual production of vehicles for each manufacturer and the number of vehicles manufactured by each manufacturer under S8.1 through S8.3, a ve-

hicle produced by more than one manufacturer must be attributed to a single manufacturer as follows, subject to S8.6.2:

(a) A vehicle that is imported must be attributed to the importer.

(b) A vehicle manufactured in the United States by more than one manufacturer, one of which also markets the vehicle, must be attributed to the manufacturer that markets the vehicle.

**S8.6.2** A vehicle produced by more than one manufacturer must be attributed to any one of the vehicle's manufacturers specified by an express written contract, reported to the National Highway Traffic Safety Administration under 49 CFR Part 585, between the manufacturer so specified and the manufacturer to which the vehicle would otherwise be attributed under S8.6.1.

**S8.7 Small volume manufacturers.** Vehicles manufactured during any of the three years of the September 1, 2012 through August 31, 2015 phase-in by a manufacturer that produces fewer than 5,000 vehicles for sale in the United States during that year are not subject to the requirements of S8.1, S8.2, and S8.3.

**S8.8 Final-stage manufacturers and alterers.**

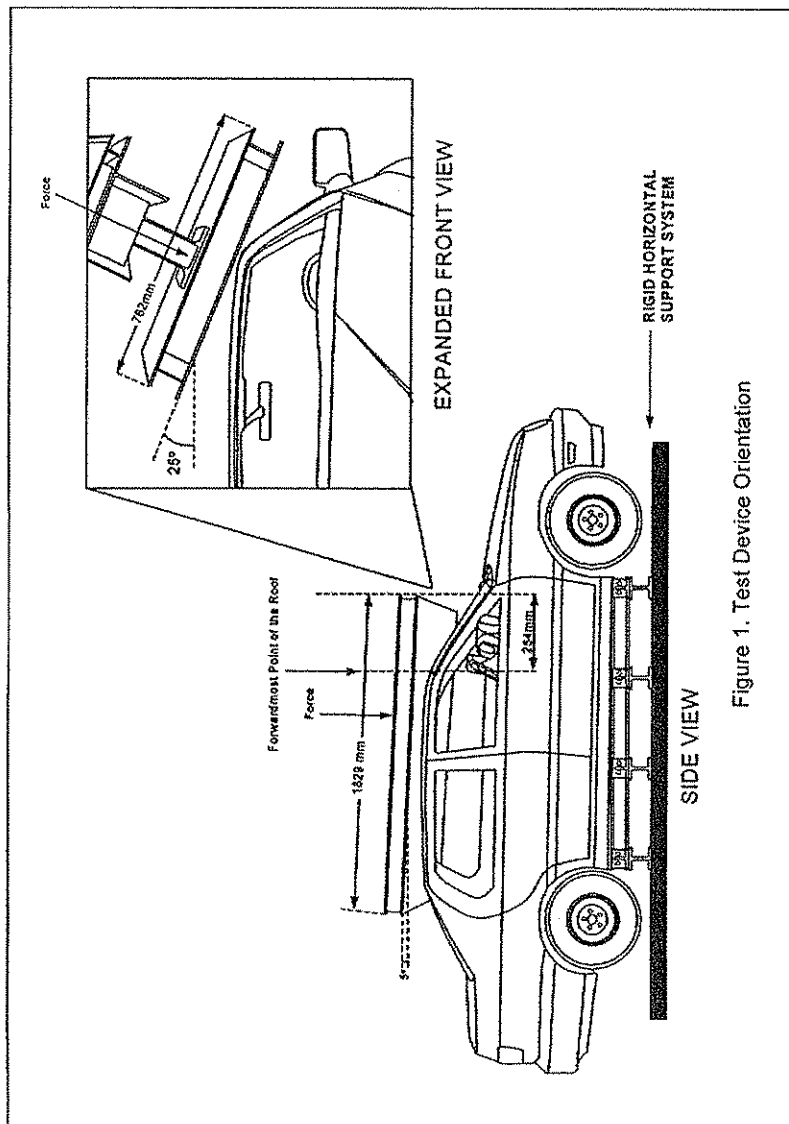
Vehicles that are manufactured in two or more stages or that are altered (within the meaning of 49 CFR 567.7) after having previously been certified in accordance with Part 567 of this chapter are not subject to the requirements of S8.1 through S8.3. Instead, all vehicles produced by these manufacturers on or after September 1, 2016 must comply with this standard.

**S9 Vehicles with a GVWR above 2,722 kilograms (6,000 pounds).**

(a) Except as provided in S9(b), each vehicle manufactured on or after September 1, 2016 must comply with this standard.

(b) Vehicles that are manufactured in two or more stages or that are altered (within the meaning of 49 CFR 567.7) after having previously been certified in accordance with Part 567 of this chapter are not subject to the requirements of S8.1 through S8.3. Instead, all vehicles produced by these manufacturers on or after September 1, 2017 must comply with this standard.

Figure 1 to § 571.216



[74 FR 22384, May 12, 2009, as amended at 75 FR 17605, Apr. 7, 2010]

**§ 571.217 Standard No. 217; Bus emergency exits and window retention and release.**

**S1. Scope.** This standard establishes requirements for the retention of windows other than windshields in buses, and establishes operating forces, opening dimensions, and markings for bus emergency exits.

**S2. Purpose.** The purpose of this standard is to minimize the likelihood of occupants being thrown from the bus and to provide a means of readily accessible emergency egress.

**S3. Application.** This standard applies to buses, except buses manufactured for the purpose of transporting persons under physical restraint.

**S4. Definitions.** *Adjacent seat* means a designated seating position located so that some portion of its occupant space is not more than 10 inches from an emergency exit, for a distance of at least 15 inches measured horizontally and parallel to the exit.

*Daylight opening* means the maximum unobstructed opening of an emergency exit when viewed from a direction perpendicular to the plane of the opening.

*Mid-point of the passenger compartment* means any point on a vertical transverse plane bisecting the vehicle longitudinal centerline that extends between the two vertical transverse planes which define the foremost and rearmost limits of the passenger compartment.

*Occupant space* means the space directly above the seat and footwell, bounded vertically by the ceiling and horizontally by the normally positioned seat back and the nearest obstruction of occupant motion in the direction the seat faces.

*Passenger compartment* means space within the school bus interior that is between a vertical transverse plane located 76 centimeters in front of the forwardmost passenger seating reference point and a vertical transverse plane tangent to the rear interior wall of the bus at the vehicle centerline.

*Post and roof bow panel space* means the area between two adjacent post and roof bows.

*Push-out window* means a vehicle window designed to open outward to provide for emergency egress.

*Sliding window* means a bus window designed to open by moving vertically or horizontally to provide emergency egress.

*Wheelchair* means a wheeled seat frame for the support and conveyance of a physically disabled person, comprising at least a frame, seat, and wheels.

*Wheelchair securement anchorage* means the provision for transferring wheelchair securement device loads to the vehicle structure.

*Wheelchair securement device* means a strap, webbing or other device used for securing a wheelchair to the school bus, including all necessary buckles and other fasteners.

**S5. Requirements.**

**S5.1 Window retention.** Except as provided in S5.1.2, each piece of window glazing and each surrounding window frame when tested in accordance with the procedure in S5.1.1 under the conditions of S6.1 through S6.3, shall be retained by its surrounding structure in a manner that prevents the formation of any opening large enough to admit the passage of a 4-inch diameter sphere under a force, including the weight of the sphere, of 5 pounds until any one of the following events occurs:

- (a) A force of 1,200 pounds is reached.
- (b) At least 80 percent of the glazing thickness has developed cracks running from the load contact region to the periphery at two or more points, or shattering of the glazing occurs.

- (c) The inner surface of the glazing at the center of force application has moved relative to the window frame, along a line perpendicular to the undisturbed inner surface, a distance equal to one-half of the square root of the minimum surface dimension measured through the center of the area of the entire sheet of window glazing.

**S5.1.1** An increasing force shall be applied to the window glazing through the head form specified in Figure 4, outward and perpendicular to the undisturbed inside surface at the center of the area of each sheet of window glazing, with a head form travel of 2 inches per minute.

# **Anexo 2:**

# **Hojas de especificaciones de materiales**

*Diego García Lázaro*

*TFM: Optimización de un Pilar A Superior de automóvil en diferentes materiales en base la norma FMVSS216 de ensayo de techo.*

## Propiedades mecánicas a temperatura ambiente de los productos planos y largos (1 de 2)

Designación según		Límite elástico, mínimo, $R_{eH}^a$ , en MPa <sup>b</sup>									Resistencia a tracción $R_m^a$ , en MPa <sup>b</sup>				
		Espesor nominal, en milímetros									Espesor nominal en milímetros				
UNE EN 10027-1 y CR 10260	UNE EN 10027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 <sup>c</sup>	≤ 3	> 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 <sup>c</sup>
S 235 JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	-
S 235 JO	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	-
S 235 J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	330 a 480
S 275 JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	-	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	-
S 275 JO	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	-	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	-
S 275 J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	380 a 540
S 355 JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	-	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	-
S 355 JO	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	-	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	-
S 355 J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	450 a 600
S 355 K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	450 a 600
S 450 J0 <sup>d</sup>	1.0590	450	430	410	390	380	380	-	-	-	-	550 a 720	530 a 700	-	-

a Para chapas, bandas y planos de anchura > 600 mm, los valores se aplican a la dirección transversal "t". Para los demás productos los valores se aplican a la dirección paralela "l" a la de laminación.

b 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>

c Los valores son aplicables a los productos planos.

d Aplicable a productos largos solamente

## Propiedades mecánicas a temperatura ambiente para productos planos y de los productos largos (2 de 2)

Designación según		Posición de las probetas en el ensayo <sup>a</sup>	Porcentaje mínimo de alargamiento tras la factura % <sup>a</sup>										
			L <sub>0</sub> = 80 mm Espesor nominal en mm					L <sub>0</sub> = 5,65 √S <sub>o</sub> Espesor nominal en mm					
UNE EN 10027-1 y CR 10260	UNE EN 10027-2		≤ 1,0	> 1,0 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2,0	> 2,0 ≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3,0	> 3,0 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 <sup>c</sup> ≤ 400 sólo para los grados J2 y K2
S 235 JR	1.0038	l	17	18	19	20	21	26	25	24	22	21	-
S 235 JO	1.0114												-
S 235 J2	1.0117	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21	21 (l y t)
S 275 JR	1.0044	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	-
S 275 JO	1.0143												-
S 275 J2	1.0145	t	13	14	15	16	17	21	20	19	19	18	18 (l y t)
S 355 JR	1.0045	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	-
S 355 JO	1.0553												-
S 355 J2	1.0577												17 (l y t)
S 355 K2	1.0596	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17 (l y t)
S 450 JO <sup>d</sup>	1.0590	l	-	-	-	-	-	17	17	17	17	-	-

a Para chapas, bandas y planos de anchura  $> 600 \text{ mm}$ , los valores se aplican a la dirección transversal "t". Para los demás productos los valores se aplican a la dirección paralela "l" a la de laminación.

b Los valores son aplicables a los productos planos.

c Aplicable a productos largos solamente



## Docol DP/DL

### Cold reduced dual phase steels

Page 1/4

#### PRODUCT

Docol DP and Docol DL are cold reduced dual phase steels. The steels are subjected to special heat treatment in the continuous annealing line, which produces a two-phase structure in which the ferrite that imparts unique forming properties is one of the phases, and martensite that accounts for the strength is the other. The strength increases with increasing proportion of the hard martensite phase.

Docol DP/DL are characterized by a very good formability compared to the strength and also good weldability. All conventional welding methods can be used because of a very lean chemical composition.

Some of the advantages of using Docol DP/DL are:

- Weight reduction
- Simplified manufacturing
- Increased safety
- Improved environment
- Longer lifecycle
- Increased payload
- Increased load capacity
- Reduced total cost

#### APPLICATIONS

Typical applications for Docol DP/DL are

- Safety components in cars - door beams, bumper reinforcement, seat tracks
- Tube applications - baby rams, furnitures, bicycles

#### DIMENSION RANGE

Thickness: 0.5 - 2.10 mm

Width: 800 - 1500 mm, depending on steel grade and thickness.

#### TOLERANCES

Docol DP/DL are supplied to tolerances in accordance with EN 10131.

#### MECHANICAL PROPERTIES

Steel grade	Yield Strength $R_{p,0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )		Yield Strength after bake hardening <sup>1)</sup>	Tensile strength $R_m$ (Nmm <sup>2</sup> )		Elongation $A_{80}$ %	Min. bending radius for 90°
	min	max		min	max		
Docol 500 DP	290	370	400	500	600	20	0xt
Docol 500 DL	230	300	350	500	600	24	0xt
Docol 600 DP	350	450	500	600	700	16	0xt
Docol 600 DL	280	360	450	600	700	20	0xt
Docol 800 DP	500	650	600	800	950	10	1,0xt
Docol 800 DL	390	540	550	800	950	13	1,0xt
Docol 1000 DP	700	950	850	1000	1200	7	2,0xt

The mechanical properties are valid in transverse direction of rolling.

t = Sheet thickness

1) BH = bake hardening after 2 % plastic deformation and heated to 170°C

## Docol DP/DL

### Cold reduced dual phase steels

#### CHEMICAL COMPOSITION

(typical value)

Steel grade	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al <sub>tot</sub> %	Nb %
Docol 500 DP	0,08	0,30	0,65	0,010	0,010	0,040	-
Docol 500 DL	0,05	0,20	1,50	0,010	0,002	0,040	-
Docol 600 DP	0,10	0,20	0,80	0,010	0,002	0,040	0,015
Docol 600 DL	0,10	0,40	1,50	0,010	0,002	0,040	-
Docol 800 DP	0,13	0,20	1,50	0,010	0,002	0,040	0,015
Docol 800 DL	0,14	0,20	1,50	0,010	0,002	0,040	0,015
Docol 1000 DP	0,15	0,50	1,50	0,010	0,002	0,040	0,015

#### FORMING

Docol DP/DL are meant for cold forming, and even the ultra high strength qualities can be formed in a traditional way.

#### Bending

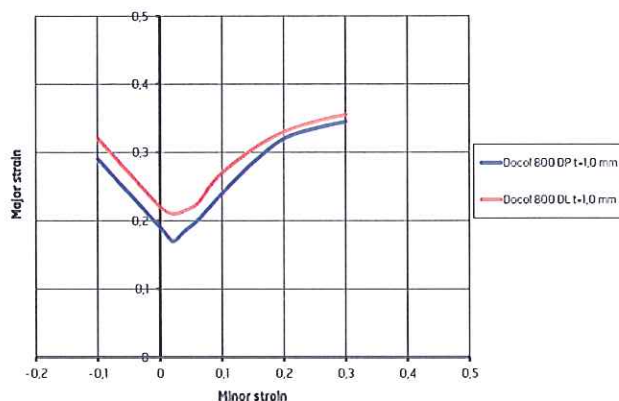
The bendability of DP/DL steels is good even at higher strength levels. At advanced bending it is important if possible to bend transverse to the rolling direction, where the bendability is somewhat better than in the longitudinal direction.

#### Rollforming

Roll forming is very suitable for DP/DL steels and this also permits smaller radii compared to bending.

#### Pressing

The high work hardening of DP/DL steels results in good stretchability and drawability. To consider when designing details in Docol DP/DL is to make the radii be a bit larger and optimize the blank shape to help the material "flow" in the tool. Below some formability limit curves (true strain) are shown as example of the formability of two DP/DL grades.



#### SHEARING AND PUNCHING

When shearing and punching Docol DP/DL steels it is particularly important to use the right cutting clearances. Factors ruling this are sheet thickness, strength and the demand on the cut surface shape. A cutting clearance of 10-12% of sheet thickness is recommended for Docol DP/DL steels.

## Docol DP/DL

### Cold reduced dual phase steels

Page 3/4

#### WELDING

The weldability of Docol DP/DL is very good. The reason to this is that Docol DP/DL steels have very low contents of alloying elements in relation to the high strength of the steels.

When Docol DP/DL is fusion welded all the common welding methods can be used as e.g. gas metal arc welding (GMAW), manual metal arc welding (MMA), TIG-welding, plasma welding and laser welding. The recommended filler metals for Docol DP/DL are shown in table 1. If the welds can be placed in areas with low stresses also filler metals of lower strength than in table 1 can be used.

The strength of welded joints for Docol DP/DL is higher than the corresponding strength of conventional high strength steels.

Other welding methods which can be used for Docol DP/DL are electrical resistance welding and high frequency welding. Spot welding is the most common welding method for Docol DP/DL. When Docol DP/DL is spot welded to another soft steel it is recommended that the electrode force is increased by 20-30%. To ensure good welding results when Docol DP/DL is spot welded to itself it is recommended that the electrode force is increased by 40-50% and that the welding time is slightly increased.

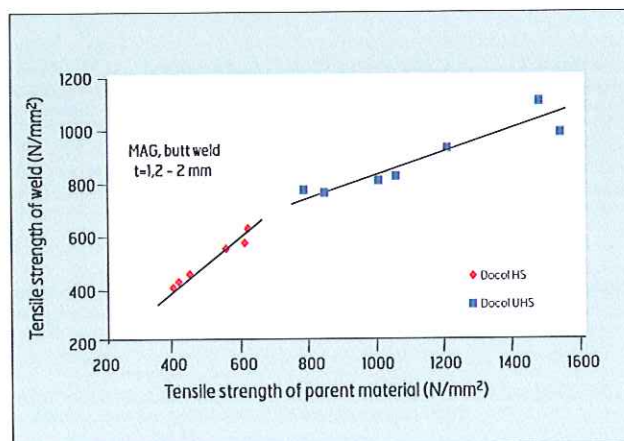
#### TECHNICAL SERVICE AND INFORMATION

Knowledge Service Center will be pleased to assist with additional information concerning this product from SSAB.

TABLE 1: RECOMMENDED FILLER METALS FOR DOCOL UHS

GMAW (MAG)	MMA
Gas metal arc welding	Manual metal arc welding
AWS: A5.28 ER 10XS-X	AWS: A5.5 E10X18
AWS: A5.28 ER 11XS-X	AWS: A5.5 E11X18
AWS: A5.28 ER 12XS-X	AWS: A5.5 E12X18

#### STRENGTH OF WELDED JOINTS





**Docol DP/DL**  
Cold reduced dual phase steels

The particulars in this data sheet are correct at the time of going to print and are intended to give general guidance for the use of the product. Subject to changes arising from continual product development. The information and data must not be regarded as guaranteed values, unless specially confirmed in writing.

SSAB EMEA AB  
SE-781 84 Borlänge  
Sweden

Tel +46 243 700 00  
Fax +46 243 720 00

help@ssab.com

## Docol M

### Cold reduced martensitic steels

Page 1/4

#### PRODUCT

Docol M are cold reduced fully martensitic steels. These steels are manufactured using special heat treatment in a continuous annealing line. The ultra high strength is produced by extremely fast water quenching from an elevated austenitic temperature range.

Docol M grades are characterized by good formability at these high strength levels combined with good weldability. All conventional welding methods can be used due to the lean chemical composition.

Some of the advantages of using Docol M are:

- Weight reduction
- Very high strength levels
- Simplified manufacturing
- Increased safety
- Improved environment
- Longer lifecycle
- Increased payload
- Reduced total cost

#### APPLICATIONS

Typical applications for Docol M are

- Safety components in cars
- door beams
- bumper reinforcements.
- Safety shoe toe-caps and soles
- Cutting tools
- Clutch discs

#### DIMENSION RANGE

Thickness: 0.5-2.10

Width: 800-1500 mm, depending on steel grade and thickness.

#### TOLERANCES

Docol M are supplied to tolerances in accordance with EN 10131.

#### MECHANICAL PROPERTIES

Steel grade	Yield strength $R_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )		Yield strength after bake hardening <sup>1)</sup>	Tensile strength $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )		Elongation $A_{80}$ %	Min bending radius 90 ° bend
	min	max		min	max		
Docol 900M	700	-	900	900	1100	3	3.0 xt
Docol 1200M	950	-	1150	1200	1400	3	3.0 xt
Docol 1400M	1150	-	1350	1400	1600	3	3.0 xt
Docol 1500M <sup>2)</sup>	1200	-	-	1500	1700	3	3.0 xt

The mechanical properties are valid in transverse direction of rolling

t = Sheet thickness

1) BH = bake hardening after 2% plastic deformation and heated to 170 °C

2) Can be achieved at request

#### CHEMICAL COMPOSITIONS

(Typical values)

Steel grade	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al <sub>tot</sub> %	Nb %	Ti %
Docol 900M	0,05	0,20	2,00	0,010	0,002	0,040	-	-
Docol 1200M	0,11	0,20	1,70	0,010	0,002	0,040	0,015	0,025
Docol 1400M	0,17	0,20	1,40	0,010	0,002	0,040	0,015	0,025
Docol 1500M	0,21	0,20	1,10	0,010	0,002	0,040	0,015	0,025

## Docol M

### Cold reduced martensitic steels

Page 2/4

#### FORMING

Docol M is designed for conventional cold forming techniques such as stamping, roll forming and tube making.

##### Bending

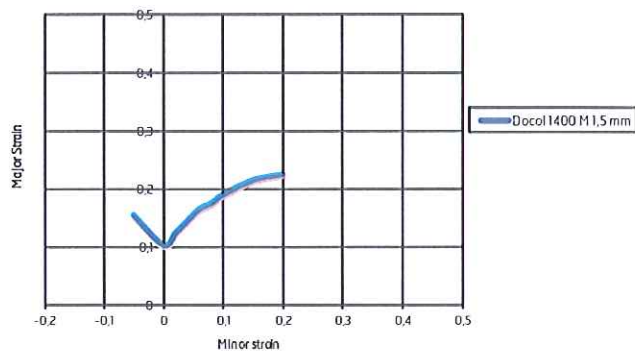
The bendability of M steels is good. At tight bend radii it is important if possible to do the bending transverse to the rolling direction where the bendability is somewhat better than in the longitudinal direction.

##### Rollforming

Roll forming is widely used for M steels and this also permits smaller radii compared to those achieved when bending.

##### Pressing

The high work hardening of M steels results in good stretchability and drawability. Usual consideration when designing details in Docol is to make the radii slightly larger and optimize the blank shape to help the material "flow" in the tool. The forming limit curves below, for Docol 1400 M in thickness 1,50 mm, show a material that can withstand at least 14% deformation at forming.



#### SHEARING AND PUNCHING

When shearing and punching Docol M steels it is particularly important to use the right cutting clearances. Factors ruling this are sheet thickness, strength and the demand on the cut surface appearance. We recommend a cutting clearance of 10-12% of the sheet thickness for Docol M steels.

## Docol M

### Cold reduced martensitic steels

Page 3/4

#### WELDING

The weldability of Docol M is very good. The reason for this is that Docol M steels have very low contents of alloying elements in relation to the high strength of the steels.

When Docol M is fusion welded all the common welding methods can be used as e.g. gas metal arc welding (GMAW), manual metal arc welding (MMA), TIG-welding, plasma welding and laser welding. The recommended filler metals for Docol M are shown in table 1. If the weldments can be placed in areas of low stresses, then filler metals of lower strength than in table 1 can be used.

The strength of welded joints with Docol M is higher than when conventional high strength steels are welded.

Another welding method, which can be used for Docol M, is electrical resistance welding. Spot welding is the most common welding method for Docol M. When Docol M is spot welded to another soft steel it is recommended that the electrode force is increased by 20-30%. To ensure good welding results when Docol M is spot welded to itself it is recommended that the electrode force is increased by 40-50% and that the welding time is slightly increased.

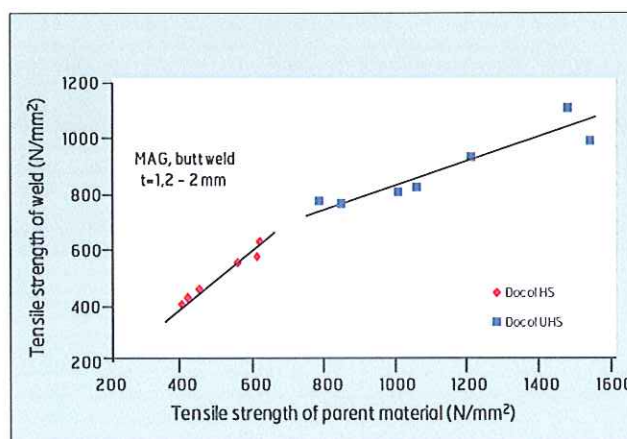
#### TECHNICAL SERVICE AND INFORMATION

Knowledge Service Center will be pleased to assist with additional information concerning this product from SSAB.

TABLE 1: RECOMMENDED FILLER METALS

GMAW (MAG)	MMA
Gas metal arc welding	Manual metal arc welding
AWS: A5.28 ER 10XS-X	AWS: A5.5 E10X18
AWS: A5.28 ER 11XS-X	AWS: A5.5 E11X18
AWS: A5.28 ER 12XS-X	AWS: A5.5 E12X18

#### STRENGTH OF WELDED JOINTS



The particulars in this data sheet are correct at the time of going to print and are intended to give general guidance for the use of the product. Subject to changes arising from continual product development. The information and data must not be regarded as guaranteed values, unless specially confirmed in writing.

SSAB EMEA AB  
SE-781 84 Borlänge  
Sweden

Tel +46 243 700 00  
Fax +46 243 720 00

help@ssab.com

[www.ssab.com](http://www.ssab.com)



**Docol M**  
Cold reduced martensitic steels

The particulars in this data sheet are correct at the time of going to print and are intended to give general guidance for the use of the product. Subject to changes arising from continual product development. The information and data must not be regarded as guaranteed values, unless specially confirmed in writing.

SSAB EMEA AB  
SE-781 84 Borlänge  
Sweden

Tel +46 243 700 00  
Fax +46 243 720 00

help@ssab.com



# Automotive

Competence in Aluminium



Rolled aluminium products for  
automotive applications





AMAG Ranshofen – the integrated location for specialised, innovative solutions

# Innovative expertise for rolled aluminium products

During the production of heat treatable and work hardening plate, sheet and coil, AMAG can rely on more than 70 years of experience of working with aluminium. Austria's leading aluminium group is positioned in the heart of Europe and constitutes an exceptionally flexible specialist with concentrated competence that ranges from casting and rolling technologies to recycling. The company's manufacturing technologies are state-of-the-art and production potential is constantly being enhanced and expanded by means of ongoing investment.

Indeed, AMAG's enormous innovation potential is based on the integrated location in Ranshofen with its multifaceted product portfolio, which features everything from a flexible approach to production complexity, to logistical partnership.

Company quality assurance systems are aligned to the stringent demands of technologically advanced customer segments such as those of the aviation and automotive industries and brand article producers in the sports branch. Support is provided by the company's own accredited testing centre, the officially accredited AMAG testing laboratory, which meets the high international standards recognized by the aerospace industry. The actual certifications are listed on the homepage [www.amag.at](http://www.amag.at).

The exceptional commitment of the entire workforce to the continuous improvement process (CIP) is repeatedly evidenced by the creation of benchmarks, while employee motivation is characterised by quality consciousness, productivity and innovativeness. Indeed, the ideas and suggestions of the workforce represent a major factor in AMAG success.

### Clad material

The production of clad materials, especially brazing coil and sheet, demands great care. Integrated quality management systems in combination with the stipulations contained in pressure vessel directives guarantee secure process production. Customers benefit from concentrated know-how, rapid procedures and adherence to flexible delivery dates. In particular, they appreciate AMAG's versatility with regard to diverse dimensions and readiness to respond to special requests. These can be quickly met by means of unusual combinations, brief delivery dates, small batches, or the company's own logistics partners.

AMAG's corporate culture is epitomised by decision-making capacity and long-term customer partnerships. Moreover, due to the tried and tested interplay between its technical experts and extensive plant range, the company is well equipped to deal with even the most complex of assignments.

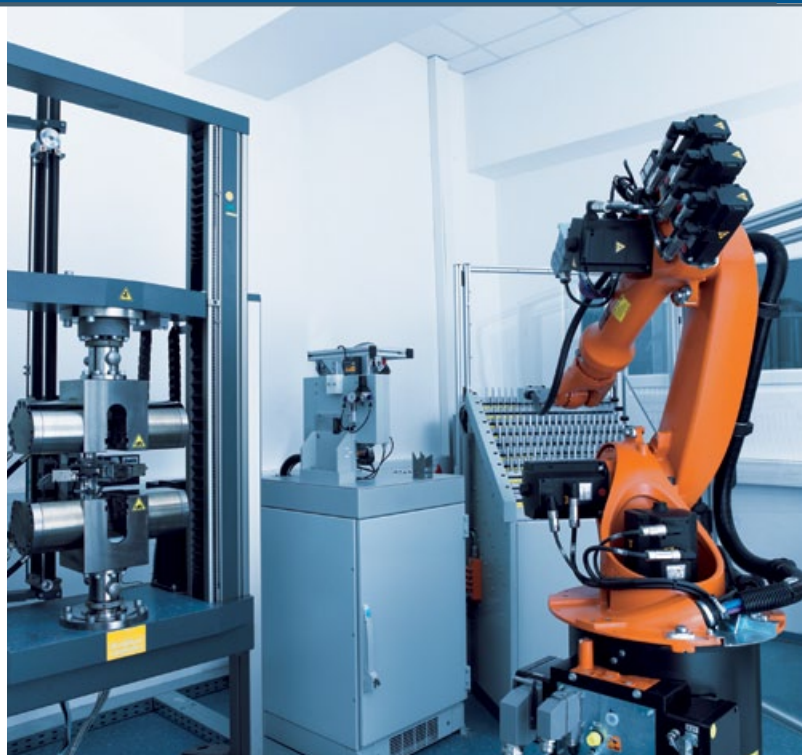
# A focus on special customer challenges

Demanding material solutions in line with international standards and customer specifications constitute AMAG's daily technological business. In addition, specific customer requirements are to be met, which are dealt with in the course of individual, consultative discussions. One example is the demand for excellent sheet formability in combination with high strength.

In many cases, the characteristics requested are directly interdependent, or even of a contradictory nature. Targeted technological measures such as the optimization of chemical composition, hot and cold forming modifications and the perfection of heat treatment and annealing are required in this connection, in order that the full spectrum of special customer requirements can be balanced to the greatest possible extent.

AMAG has responded to the challenges issued by the automotive industry with high quality special products, which stand out due to their excellent surface characteristics, high strength and optimum formability. These innovative solutions derive from AMAG's unique mix of long-term experience, extensive material know-how and key production competences. The latter include the heat treatment of hardenable and high-strength materials, roll cladding technology and the manufacture of bright surfaces.

For many years, AMAG has successfully reconciled the apparent contradictions involved in manufacturing products of the highest technical and qualitative standards in an ecological manner. The Alouette electrolysis plant in Canada, in which AMAG has a 20 per cent holding, only employs "clean" hydropower for the resource-protective production of primary metal. As a result, the most energy-intensive phase of the value added chain is covered in an ideal manner from an environmental perspective. Moreover, the AMAG casthouse in Ranshofen, which is one of the largest, single location recyclers of aluminium in Europe, has the expertise and equipment to convert



Automatic tensile stress testing using robots



Infrared furnace for the heat treatment of fast hardening alloys



Surface testing laboratory

diverse aluminium products that have reached the end of their life into premium AMAG products. Needless to say, this upgrading is both cost-efficient and ecologically acceptable.

As a result, AMAG can clearly be regarded as an ideal partner for the realization of the steadily increasing demands made on aluminium products from an environmental standpoint.



# The latest plants for innovative automotive materials

At its Randhofen location, AMAG operates a modular plant park, which apart from the improved security of delivery derived from partially redundant production capacity, is characterized by markedly superior technical flexibility and product quality. Using the strict demands relating to outer skin qualities as a starting-point, all the company's plants are designed to provide continuous operation in tandem with the avoidance of surface defects.

## Continuous heat treatment

The automotive industry employs naturally hard and heat treatable aluminium alloys for vehicle bodies, structural parts, chassis and system components. Heat treatment is the key process phase with regard to hardenable alloys and for this purpose, AMAG has two strip annealing lines in operation, which facilitate the continuous and cost-efficient heat treatment and annealing of coil in a globally unique thickness range of 0.3-8 mm.

The availability of heat-treated strip with thicknesses of up to 8 mm is a major advantage, as in downstream production phases it can be processed by customers on a continuous basis. This represents a more efficient and economic approach than that offered by sheet.



Fig. 1: Continuous heat treatment line III

In the course of heat treatment, the strip is continuously brought up to the respective annealing temperature and is then held. Subsequently, it is quenched with water according to a precise, pre-set temperature profile rather than being cooled with air as is common practice. Moreover, as a result of its long-term experience in the heat treatment field, AMAG is able to secure excellent flatness, narrow process windows and improved mechanical characteristics.

## EDT surfaces and dry lubrication

A suitable combination of surface structure and coating has a major influence on the quality of further processing by customers. Therefore, AMAG offers all its automotive semis with a choice of EDT or mill finish. In addition, the surfaces can be provided with a conventional or dry lubricant (Fig. 2). Of major importance in this regard is the even distribution of the lubricant across the entire width of the sheet. At AMAG this is ensured by a process stage, which is separate from heat treatment and especially significant with regard to fast-hardening alloys.

## Surface passivation

Initially the natural oxide skin of the aluminium is removed by means a combined pickling and coating process and the surface passivated in the course of a Cr-free treatment.

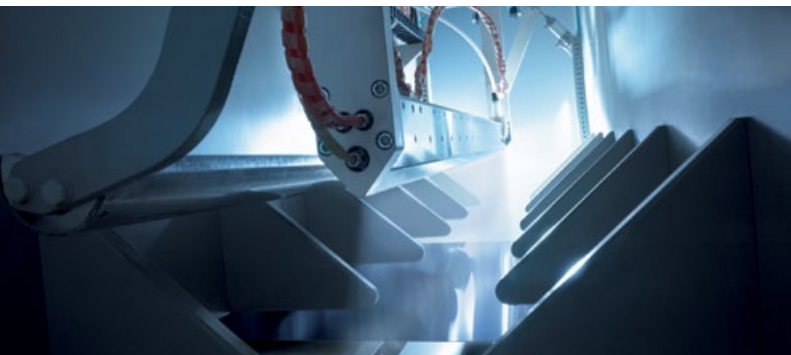


Fig. 2: Drylube application



Slitting-line

This results in a more clearly defined surface temper, which also remains stable for longer and provides the ideal preparation for subsequent welding and bonding processes.

In line with the special requirements of the automotive industry, AMAG has invested in a highly modern surface treatment line, which will fulfill current coating requirements and also accommodate future coating modifications. This line is integrated into the run-out of the continuous heat treatment line III (Fig. 1). With this investment in a passivation line (Fig. 3), AMAG has again underlined its long-term orientation towards the automotive industry.



Fig. 3: Passivation-line

## AMAG solutions for automotive applications

### Sheet and strip for bodies and structural use

Structural and body parts constitute the main areas of application for naturally hard and heat treatable aluminium alloys in the automobile industry.

As far as the sheet used for the visible part of the body is concerned, the demand is for perfect surface quality, which must be guaranteed along the entire production chain, right up to the finished component. In addition to this clearly defined stipulation regarding a defect-free surface in a delivery condition, on a metallurgical level care is taken that during forming into a body part, no unwanted surface effects such as roping occur. This is achieved by means of special modifications to the alloys, the use of the latest casting technology (EMC – Fig. 4) and optimum rolling and heat treatment processes.

The same preconditions apply to optimized product modifications in connection with the special requirements relating to increased formability, improved bending, rapid hardening with maximum strength and special deformation behaviour under crash loads. Advanced metallurgical simulation tools are used in a support role for the definition of the main process parameters.

### Special roll clad applications

Over the years, AMAG has developed into a roll clad technology specialist and the company's roll clad products are used for the production of components for the lighting and aerospace industries, as well as for heat exchangers and decorative elements for the automotive industry.

Roll cladding allows the creation of extremely diverse material combinations with precisely defined layer thicknesses and extremely close cladding layer tolerances. In addition to standard applications, cladding combinations can be employed for the optimization of formability and improvements in corrosion resistance. This allows the use of high-strength materials in tandem with conventional forming procedures.



Fig. 4: EMC – ingot casting line



# AMAG alloys for automotive applications


## Chemical properties

Alloy	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti
<b>non-heat treatable alloys</b>								
5083	0.40	0.40	0.10	0.40 – 1.0	4.0 – 4.9	0.05 – 0.25	0.25	0.15
5182	0.20	0.35	0.15	0.20 – 0.50	4.0 – 5.0	0.10	0.25	0.10
5754	0.40	0.40	0.10	0.50	2.6 – 3.6	0.30	0.20	0.15
<b>heat treatable alloys</b>								
6013	0.6 – 1.0	0.5	0.6 – 1.1	0.20 – 0.8	0.8 – 1.2	0.10	0.25	0.10
6016	1.0 – 1.5	0.50	0.20	0.20	0.25 – 0.6	0.10	0.20	0.15
6061	0.40 – 0.8	0.7	0.15 – 0.40	0.15	0.8 – 1.2	0.04 – 0.35	0.25	0.15
6082	0.7 – 1.3	0.50	0.10	0.40 – 1.0	0.6 – 1.2	0.25	0.20	0.10
6111	0.6 – 1.1	0.40	0.50 – 0.9	0.10 – 0.45	0.50 – 1.0	0.10	0.15	0.10
6181	0.8 – 1.2	0.45	0.10	0.15	0.6 – 1.0	0.10	0.20	0.10
<b>hard alloys</b>								
2024	0.50	0.50	3.8 – 4.9	0.30 – 0.9	1.2 – 1.8	0.10	0.25	0.15
7020	0.35	0.40	0.20	0.05 – 0.50	1.0 – 1.4	0.10 – 0.35	4.0 – 5.0	
7075	0.40	0.50	1.2 – 2.0	0.30	2.1 – 2.9	0.18 – 0.28	5.1 – 6.1	0.20
<b>AMAG TopForm® special alloys</b>								
AMAG TopForm® SPF	0.40	0.40	0.10	0.40 – 1.0	4.0 – 4.9	0.05 – 0.25	0.25	0.15
AMAG TopForm® UHS	0.40	0.50	1.2 – 2.0	0.30	2.1 – 2.9	0.18 – 0.28	5.1 – 6.1	0.20

## Dimensions and tolerances

Rated thickness [mm]		Guaranteed thickness-tolerance <sup>*)</sup>	Width max.
From	To (incl.)		
0.4	0.6	± 0.03	1600 mm
0.6	1.0	± 0.04	
1.0	1.2	± 0.05	
1.2	1.8	± 0.06	
1.8	2.5	± 0.07	
2.5	3.0	± 0.08	
3.0	3.5	± 0.09	
3.5	4.0	± 0.10	
4.0	6.0	± 0.12	On request
6.0	8.0	On request	
8.0**	10.0**		

<sup>\*)</sup> = In relation to cold strip with a rolling width of 1,600 mm  
<sup>\*\*) = only non-heat treatable alloys</sup>



Cold rolling mill



Cold rolling mill

## Mechanical and technological properties

Alloy	Temper	Tensile strength R <sub>m</sub> [MPa]		Yield strength R <sub>p0.2</sub> [MPa]		Elongation A <sub>50</sub> [%]	Weldability		Corrosion resistance			
		Min.	Max.	Min.	Max.	Typical	MIG	FSW	General	Inter-Granular	General Exfolia-tion	Stress-Corrosion
non-heat treatable alloys												
5083	O/H111	275	350	> 125		22	+	+	+	O	O	O
5182	O/H111	255	315	> 110		24	+	+	+	O	O	O
5754	O/H111	190	240	> 80		24	+	+	+	+	+	+
heat treatable alloys												
6013	T4	≥ 276		≥ 145		20	+	+	O	O	O	+
	T6	≥ 359		≥ 317		8	+	+	O	O	O	+
6016	T4	170	250	80	140	27	+	+	+	+	+	+
	T6	260	300	180	260	14	+	+	+	+	+	+
6061	T4	> 205		> 110		23	+	+	O	+	+	+
	T6	> 290		> 240		12	+	+	O	+	+	+
6082	T4	> 205		> 110		23	+	+	+	+	+	+
	T6	> 310		> 260		12	+	+	+	+	+	+
6111	T4	≥ 241		≥ 138		24	+	+	O	O	O	+
	T6	≥ 310		≥ 276		8	+	+	O	O	O	+
6181	T4	200	240	100	140	24	+	+	+	+	+	+
hard alloys												
2024	T3	> 435		> 290		18	-	+	-	O	O	O
	T4	> 425		> 275		19	-	+	-	O	O	O
	T8	> 460		> 400		8	-	+	-	O	-	-
7020	T4	> 320		> 210		20	+	+	O	O	O	O
	T6	> 350		> 280		10	+	+	O	O	O	O
7075	T6	> 540		> 470		12	-	+	-	O	O	-
	T76	> 500		> 425		13	-	+	O	O	O	O
	T73	> 460		> 385		14	-	+	O	O	O	O
AMAG TopForm® special alloys												
AMAG TopForm® SPF	H111	275	350	> 125		22	+	+	+	O	O	O
AMAG TopForm® UHS	T6	> 540		> 470		12	-	+	-	O	O	-

Surfaces: Mill finish and EDT, Cr-free passivation, thermally degreased, chemically degreased, oiled, various dry lubricants available.

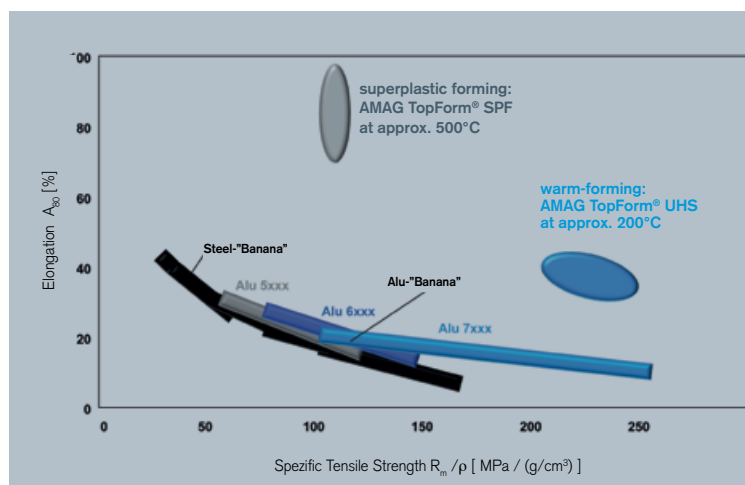
Other alloys and tempers, special dimensions and tolerances on request.

# AMAG special alloys for special processes

The classic compromise between strength and formability is greatly improved by AMAG's new material developments in combination with ideal processing methods. As a consequence, metallic structural and crash management components can be produced, which offer previously unattainable lightweight construction potential.

Fig.1 shows the position of the material/process combinations of the special AMAG TopForm® SPF and AMAG TopForm® UHS materials in the strength-elongation diagram in comparison with aluminium alloys and steels subject to conventional cold forming.

Fig. 1: Banana-graph



## AMAG TopForm® SPF

AMAG TopForm® SPF is a material that has been optimized for the superplastic forming process. This opens up fresh potential for customers, which ranges from far more complex geometries to the production of component units from a single sheet that would otherwise involve the joining of several parts.

In general, superplasticity designates the enhanced formability of a metallic material under tension and increased temperature. This far exceeds the levels normally achieved by standard methods and is attained without necking or fracture. The main prerequisites for superplastic characteristics are the very careful adjustment of the alloying elements to attain an extremely, fine grain structure with a size of  $< 10\mu\text{m}$  without the creation of a pronounced texture during forming (Fig. 2).

AMAG TopForm® SPF is an AlMgMn alloy and in formal terms corresponds with the standard AA5083 / AlMg4.5Mn0.7 alloy. However, as a result of special treatment during casting, rolling and heat treatment processes, a homogenous structure with an ultra-fine grain and very low level of impurities is created. The resulting extremely pure material and the contactless EMC (electro-magnetic casting) method specially developed for high alloy materials are then employed. The remaining production phases are based on an optimized combination of rolling and heat treatment processes.

AMAG's ability to manufacture these materials on a full industrial scale, which to date remains unique, results in highly uniform quality levels and thus creates the prerequisites for production-safe and reproducible customer processes.

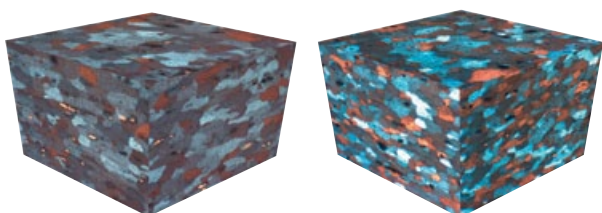


Fig. 2: As compared to a standard AlMg alloy (left), AMAG TopForm® SPF (right) demonstrates a far finer grain, which is an essential prerequisite for superplastic formability.

Deck lid of superplastic AMAG TopForm® SPF





### Characteristics and advantages of superplastic forming

Forming is completed at low speed and in high temperatures within the 450-500°C range. This means that considerably more complex geometries can be achieved than are possible with conventional forming. Forming takes place using gas pressure in a die (Fig. 3) and allows adherence to excellent dimensional tolerances without springback. The familiar problems of sheet roughing and Luder's lines inherent to cold forming do not occur.

The component assumes the surface structure of the die and can be used for visible parts. Moreover, with possible elongation of several hundred per cent, the forming capacity of the material is no longer a limiting factor, but rather the residual wall thicknesses that must be adhered to for real parts in the high forming range.

In the component, AMAG TopForm® SPF demonstrates the balanced characteristics profile of a 5xxx AlMgMn alloy with a medium strength level, high elongation, good weldability and corrosion resistance.

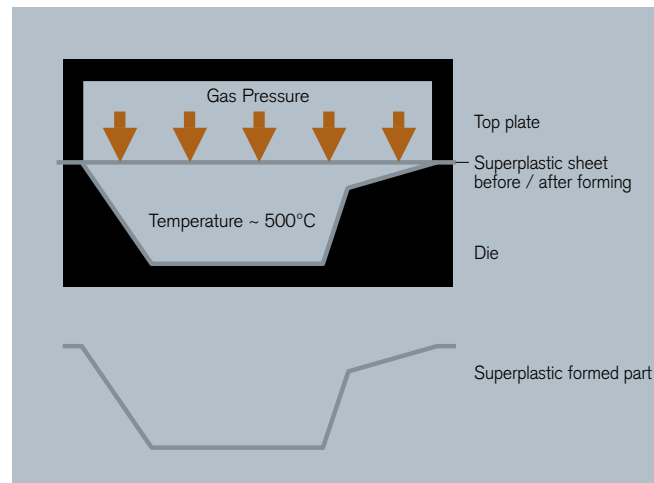


Fig. 3: Superplastic forming principles

## AMAG TopForm® UHS

AMAG Top Form® UHS is an alloy that has been optimized for warm forming and in formal terms corresponds with the 7075 (AlZn5,5MgCu) standard alloy. However, special casting, rolling and heat treatment processes ensure good forming at moderate temperatures and a reduced tendency to ageing, which results in a low loss of strength (Fig. 4).

In general the warm forming of AMAG TopForm® UHS is completed in a fully hardened T6 temper in the 200°C temperature range. The forming speed used is comparable with that of conventional cold aluminium forming, but with a far greater forming capacity. Limited exposure to heat prevents overageing effects and thus the very high mechanical parameters of the original material can be transferred to the component without further heat treatment (Fig. 5).

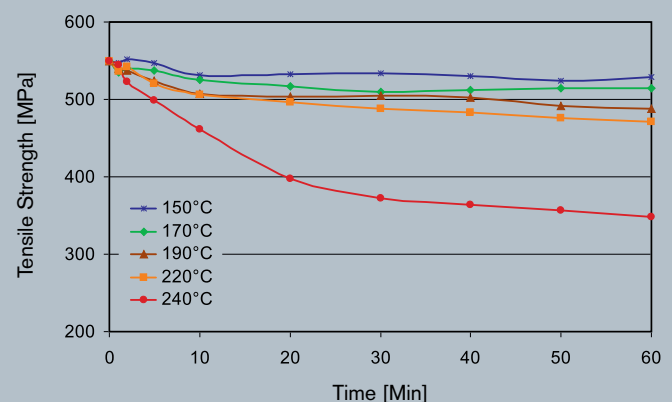


Fig. 4: Temperature-dependent overageing behaviour of AMAG TopForm® UHS

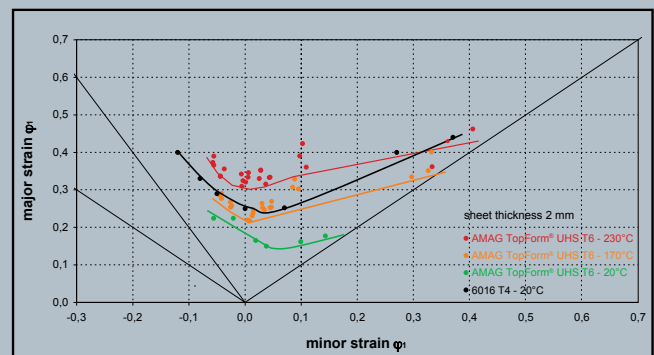


Fig. 5: Temperature-dependent forming limit curve for AMAG TopForm® UHS. The 6016 T4 alloy, which has been optimized for cold forming, serves as a reference.

Should an over-aged temper be required for certain reasons, e.g. resistance to stress corrosion, this can be attained by means of separate heat treatment.

The corrosion behaviour of AMAG TopForm® UHS can be further enhanced by the use of cladding layers in line with the usual aviation standards. Whatever the case, the numerous interactive effects between forming, joining and heat treatment processes necessitate detailed discussions between the user and the material supplier, in order to achieve optimum results with regard to the production process and the characteristics of the component. In this connection, AMAG uses the know-how that it has acquired as a supplier to demanding branches such as the aerospace sector.

AMAG TopForm® UHS and warm forming open up new possibilities for customers to combine complex geometries with highly specific strengths and energy absorption capacity by means of relatively straightforward processing.

The continuous heat treatment is an important process step in the production of heat treatable alloys for which AMAG uses state of the art strip treatment lines. The picture shows the continuous heat treatment line 3.



## Liquid aluminium

Apart from AMAG rolling as a supplier of top quality rolled products for the automotive industry, AMAG casting constitutes another competent supplier, which produces first class castings in the form of two-part and horizontally cast pigs, sows and special liquid aluminium. As a result, AMAG is directly integrated into the logistics of the automotive partner and delivers the liquid aluminium on a just-in-time basis to the customer's casthouse.

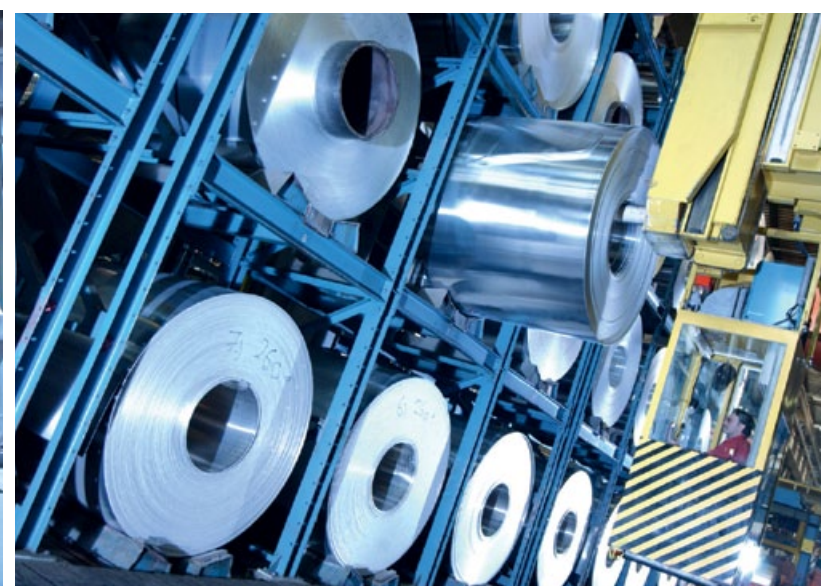
This system means that the customer does not need to complete smelting, which saves energy, prevents material burning losses and ensures a high quality level. Consequently, a particularly cost-efficient contribution is made to the overall production process, which is also positive from an ecological perspective.

## Recycling

AMAG supports the closed aluminium utilization cycle from production to further processing and recycling. Indeed, AMAG is one of the largest single locations recyclers in Europe and has the know-how and equipment necessary to convert the majority of the aluminium scrap on the market into top quality alloys in an economic and ecologically acceptable manner.

In the automotive industry, a diversity of aluminium scrap is constantly created for which AMAG can offer an all-in-one solution. AMAG looks after the logistics and accepts all types of aluminium scrap from production, turns this into high-quality wrought and cast alloys using the latest recycling technology and then dispatches the end product back to the customer.





**Competence in Aluminium**



## AMAG Austria Metall AG

P.O. Box 3  
5282 Ranshofen  
AUSTRIA  
T +43 7722 801 0  
F +43 7722 809 498  
md-amag@amag.at  
www.amag.at

## AMAG operative companies

### AMAG rolling GmbH

P.O. Box 32  
5282 Ranshofen  
AUSTRIA  
T +43 7722 801 0  
F +43 7722 809 406  
rolling@amag.at  
www.amag.at

### AMAG metal GmbH

P.O. Box 36  
5282 Ranshofen  
AUSTRIA  
T +43 7722 801 0  
F +43 7722 809 479  
metal@amag.at  
www.amag.at

### Aluminium Austria Metall (Québec) Inc.

1010 Sherbrooke ouest  
# 2414, Montréal, QC. H3A 2R7  
CANADA  
T +1 514 844 1079  
F +1 514 844 2960  
aamqc@amag.at  
www.amag.at

### AMAG casting GmbH

P.O. Box 35  
5282 Ranshofen  
AUSTRIA  
T +43 7722 801 0  
F +43 7722 809 415  
casting@amag.at  
www.amag.at

### AMAG service GmbH

P.O. Box 39  
5282 Ranshofen  
AUSTRIA  
T +43 7722 801 0  
F +43 7722 809 402  
service@amag.at  
www.amag.at

## AMAG rolling GmbH sales subsidiaries

### AMAG Deutschland GmbH

Lustheide 85  
51427 Bergisch Gladbach  
GERMANY  
T +49 2204 58654 0  
F +49 2204 58654 25  
amag.deutschland@amag.at

### AMAG FRANCE SARL

65, Rue Jean Jacques Rousseau  
92150 Suresnes  
FRANCE  
T +33 141 448 481  
F +33 141 380 507  
amag.france@amag.at

### AMAG U.K. LTD.

Beckley Lodge  
Leatherhead Road  
Great Bookham  
Surrey KT 23 4RN  
UNITED KINGDOM  
T +44 1372 450661  
F +44 1372 450833  
amag.uk@amag.at

### Office Czech Republic

David Bicosky  
Marie Podvalove 929/5  
196 00 Prag 9 - Cakovice  
CZECH REPUBLIC  
T +42 0725 002 993  
d.bicosky@amag.at

### AMAG BENELUX B.V.

Burgwal 47  
2611 GG Delft  
NETHERLANDS  
T +31 15 21 33 222  
F +31 15 21 25 795  
amag.benelux@amag.at

### AMAG ITALIA S.r.l.

Via Pantano 2  
20122 Milano  
ITALY  
T +39 02 720 016 63  
F +39 02 367 640 92  
amag.italia@amag.at

### AMAG USA Corp.

600 East Crescent Ave, Suite 207  
Upper Saddle River  
NJ 07458-1827, USA  
T +1 201 9627105  
F +1 972 4991100  
amag.usa@amag.at

### Office China

PH Tay  
c/o H&N Packaging (Suzhou) Co, Ltd.  
No: 18, Xingye Road, Taicang  
Development Area Juangsu  
P.R. CHINA  
T +86 512 5344 2355  
ph.tay15@gmail.com

## Representatives of AMAG rolling GmbH

### Bulgaria/Cathode sheet Bulmet

Blvd. Silvnitza 212, vh.D,  
et.6, ap.17  
1202 Sofia  
BULGARIA  
T +35 929 83 1936  
F +35 929 83 2651  
bulmet@data.bg

### Denmark

#### P. Funder & Son ApS

Nyhavn 47, 2. sal  
1051 Kobenhavn K.  
DENMARK  
T +45 39 63 89 83  
F +45 39 63 89 70  
of1@mail.dk

### India

#### Protos Engg Co PVT Ltd.

173, Thakur Niwas  
J tat a road  
Churchgate  
Mumbai - 400020  
INDIA  
T +91 22 66 28 7030  
F +91 22 22 02 1716  
anchan@protosindia.com

### Israel

#### Bino Trading

Haziporen 14  
30500 Binyamina  
ISRAEL  
T +972 4 6389992  
F +972 4 638939  
zadok@bino-trading.com

### Italy/Aircraft plate

#### Aerospace Engineering

Via Rimassa, 41/6  
16129 Genova  
ITALY  
T +39 010 55 08 51  
F +39 010 574 0311  
paolo@aereng.it

### Korea/Trading

#### GST Corporation

137-858, # Hanwha Obelisk,  
1327-27 Seocho 2 Dong  
Seocho-Ku, Seoul  
KOREA  
T +82 2 597 7330  
F +82 2 597 7350  
pkwanho@komet.net

### Mexico

#### Intercontinental de Metales,

#### S.A. de C.V.

Cto. Historiadores No. 2A  
Cd. Satellite, Naucalpan de Juarez  
Edo. Mex., ZC 53100  
MEXICO  
T +11 5255 5374 2272  
F +11 5255 5374 2271  
rserrano@intermetallic.com

### Poland

#### Nonferrometal

ul. Kilin'skiego 4/114  
32-600 Os'wiecim  
POLAND  
T +48 502 643 003  
F +48 33 8 433 299  
office@nonferrometal.com

### Sweden, Norway, Finland

#### Danubia Metallkontor AB

Linnégatan 76  
115 23 Stockholm  
SWEDEN  
T +46 8 704 95 95  
F +46 8 704 28 20  
peter@danubia.se

### Switzerland

#### R. Fischbacher AG

Hagackerstrasse 10  
8953 Dietikon  
SWITZERLAND  
T +41 44 740 59 00  
F +41 44 740 00 19  
info@fimet.ch

### Spain/Trading

#### Euromet Metales y

#### Transformados, S.A.

C/. Orense, 16-5oF  
28020 Madrid  
SPAIN  
T +34 639 770 672  
F +34 609 014 665  
driera@euromet.es

### Spain/OEM

#### Glintek, ingeniería y

#### aplicaciones del aluminio, SL

C/Guillermo Tell, 27 Planta 1  
08006 Barcelona  
SPAIN  
T +34 93 418 39 06  
F +34 93 418 39 06  
vllario@glintek.com

### Taiwan

#### De Pont Intern. Company

No. 1, Lane 961  
Song Yun Road  
Tali City 41283, Taichung  
TAIWAN  
T +886 (0) 4 240 69 421  
F +886 (0) 4 240 69 422  
jack0107@ms56.hinet.net